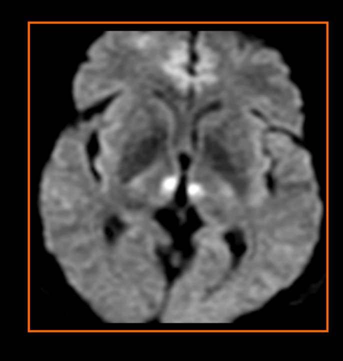


Pièges et artefacts en IRM de diffusion



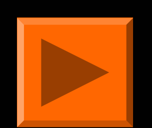


OBJECTIFS



- Connaître les images pièges
- Savoir identifier un artéfact
- Connaître les solutions pour les supprimer

C Oppenheim, H Moulahi, M Petkova, O Naggara, S Godon Hardy, F Brami-Zylberberg, JF Meder



Mode d'emploi

- Ne pas se servir du clavier
- Pour dérouler le diaporama, clique avec la souris sur les boutons actifs




En savoir plus ?

- Attention : Ne cliquer que sur ces boutons et nulle part ailleurs

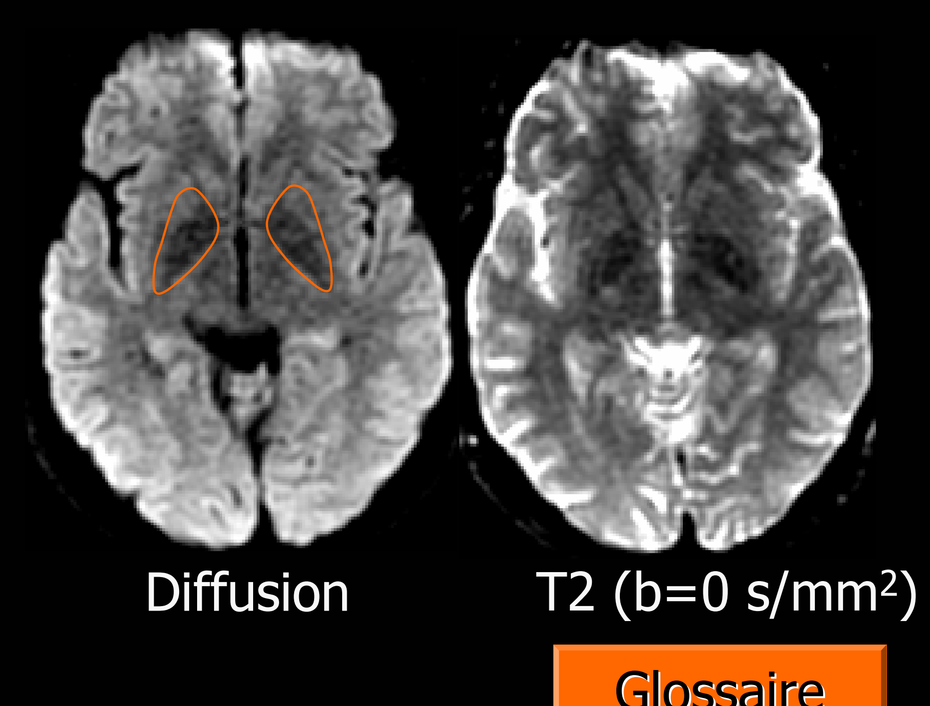
Clicker ici pour afficher la page suivante



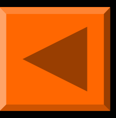
Les aspects normaux chez l’adulte

- En diffusion, les noyaux gris sont en hyposignal
- Comment l’expliquer





Diffusion   T2 (b=0 s/mm^2)





Pourquoi la substance grise est elle en hypersignal sur les images de diffusion ?





Comment interpréter la diffusion chez le nouveau né et chez le jeune enfant ?

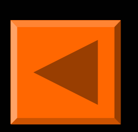
Nouveau Né

3 ans

Diffusion

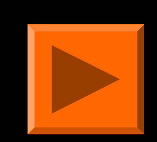
ADC

ADC

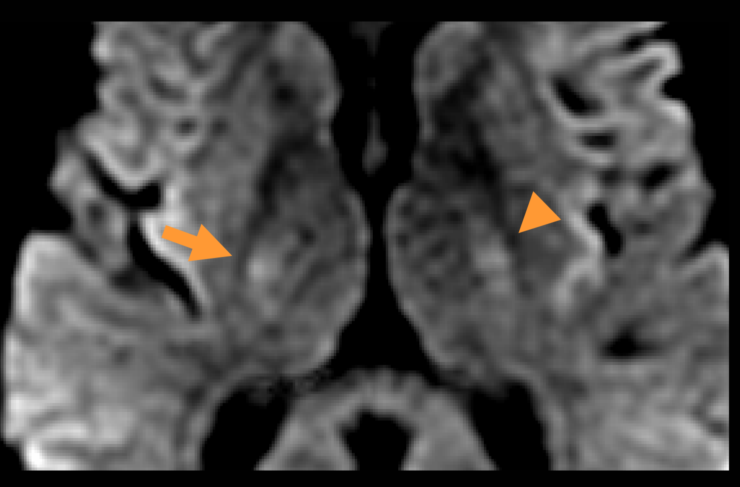


Remerciements à C Adamsbaum



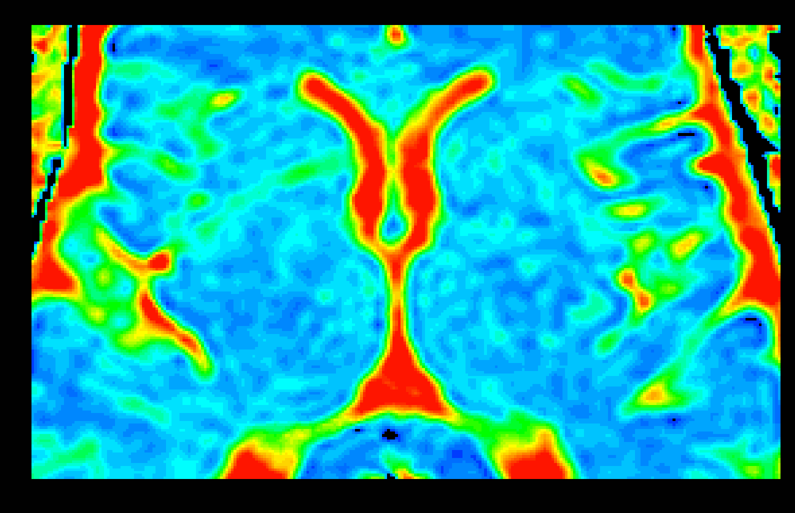


Comment explique t'on les hypersignaux visibles en diffusion le long des faisceaux cortico-spinaux ?





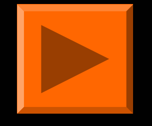
Diffusion



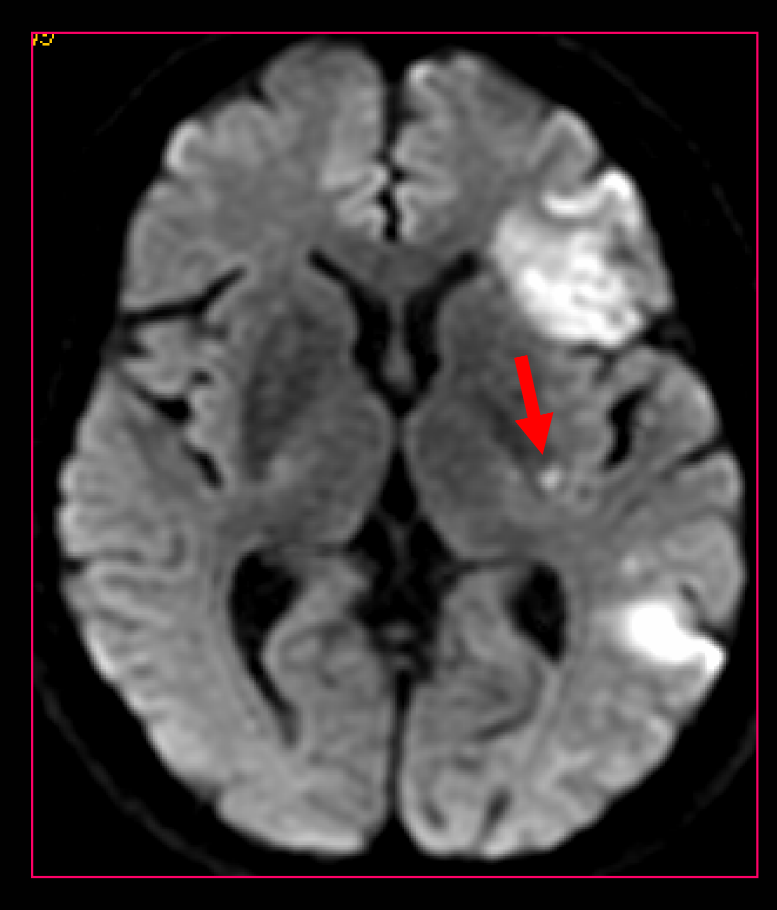
ADC



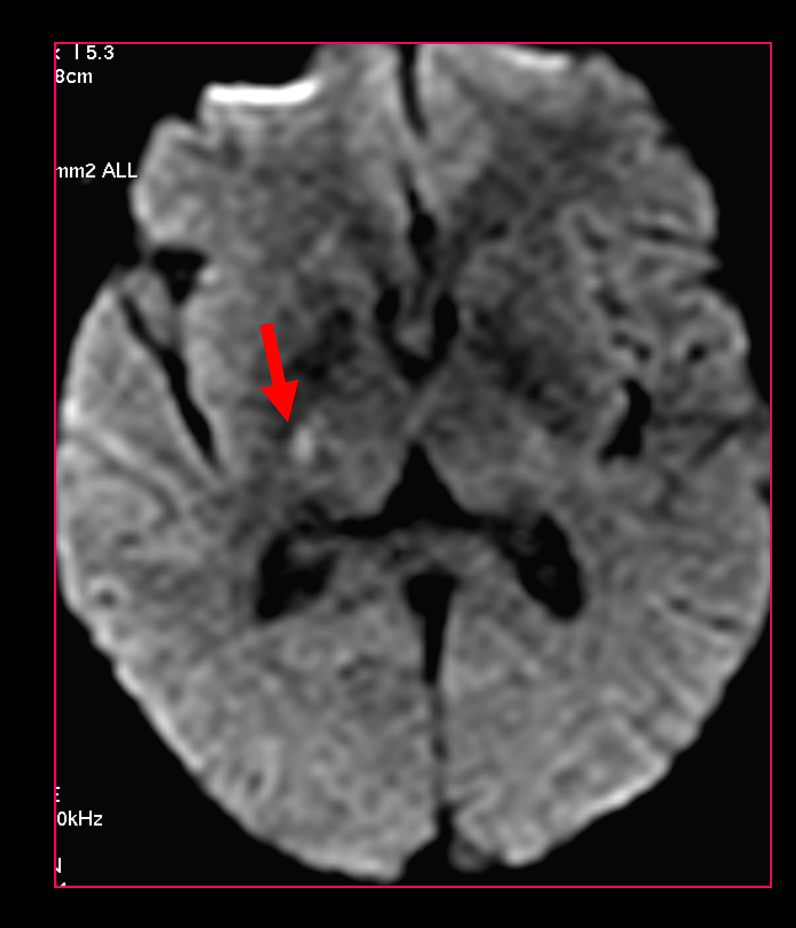




Ischémie ou artéfact d'anisotropie ?



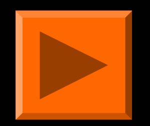
Exemple 1



Exemple 2







A quoi correspondent ces images ?

Diffusion

ADC





Nous abordons maintenant le cœur du sujet :

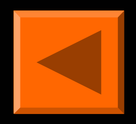
les artéfacts en diffusion

La liste est longue et non exhaustive

1. Susceptibilité magnétique
2. Courants de Foucault
3. Images fantômes
4. Déplacement chimique
5. Troncature
6. Mouvements
7. Inhomogénéité du signal

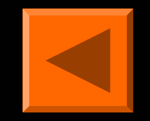
Ils sont assez simples à comprendre et leur connaissance vous permettra d'améliorer la qualité de vos images de diffusion et/ou de vos interprétations

La plupart d'entre eux ne sont pas propres à la diffusion. Certains sont communs à toutes les séquences, d'autres propres à la technique écho planar à partir de laquelle les images de diffusion sont obtenues



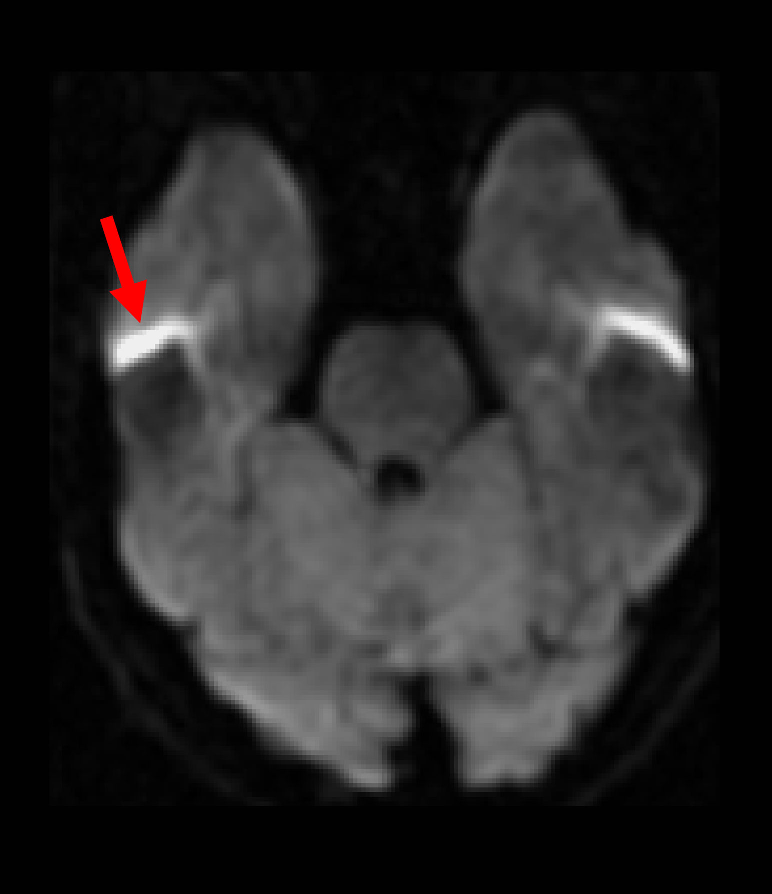
Petit rappel sur l'Imagerie Echo-planaire (EPI)

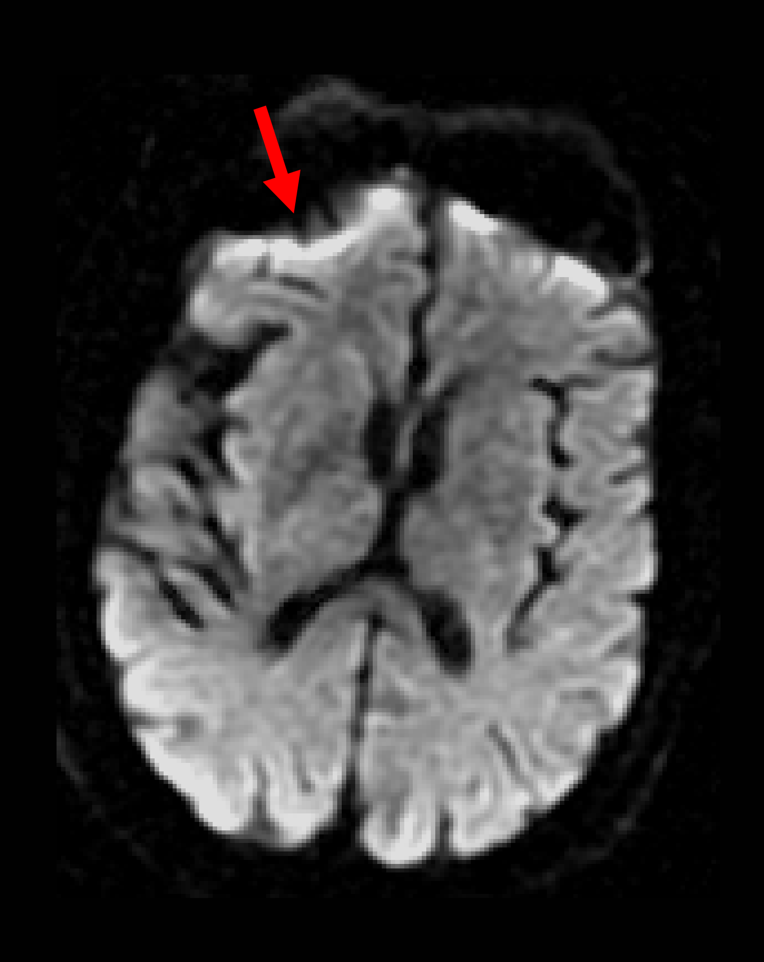
- Imagerie rapide qui permet l'acquisition des images de diffusion (mais aussi d'IRM fonctionnelle et de perfusion)
- 1 image ≈ 100 ms. Tout l'encéphale : quelques secondes
- Ceci est possible grâce à la lecture du plan de Fourier après une seule impulsion d'excitation (64 à 128 phases par TR)
- Il existe des artefacts propres à l'EPI (courant de Foucault, images fantômes …) et d'autres communs à toutes les séquences (susceptibilité magnétique, déplacement chimique, mouvements)
- Attention : l'EPI est très sensible à la qualité de l'encodage en phase car les erreurs de phase s'accumulent au sein du train d'acquisition qui est long

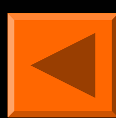




Reconnaissez-vous cet artéfact





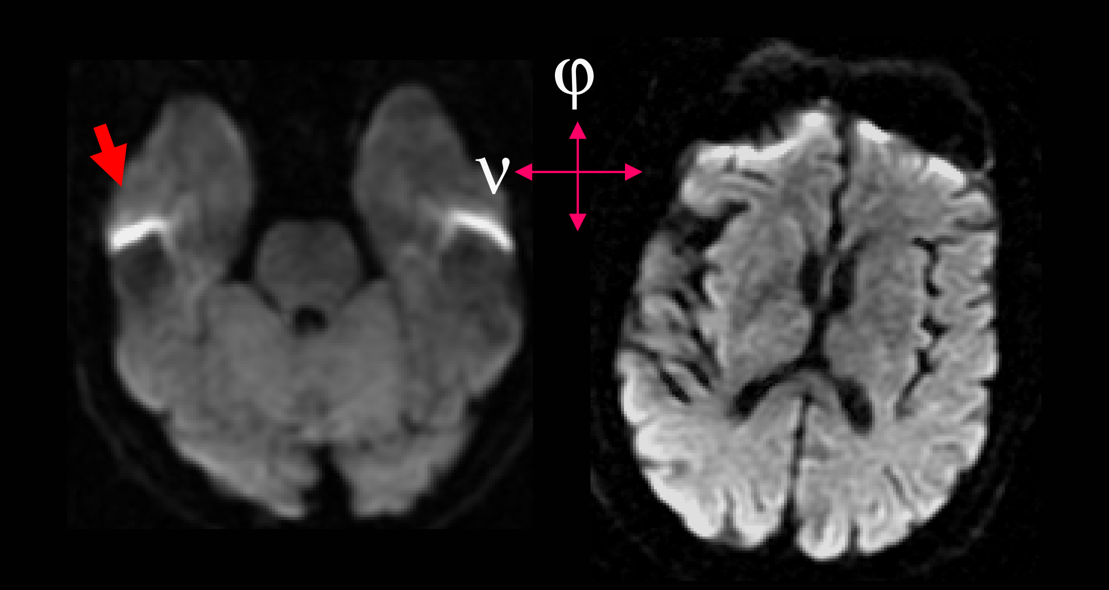




Il s'agit d'un artéfact de susceptibilité magnétique

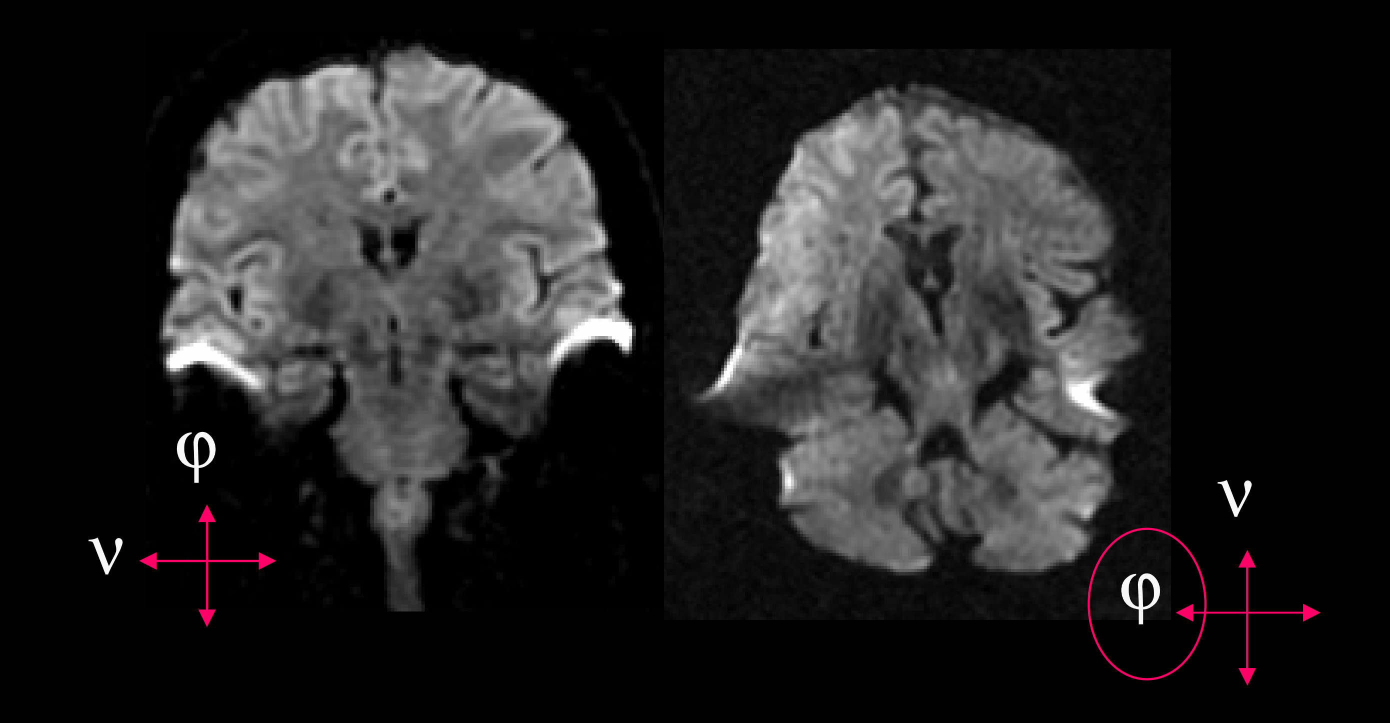
- Particulièrement marqués en écho planar
- Surtout dans la direction du codage de phase (φ)
- Aux interfaces entre l'air et les tissus



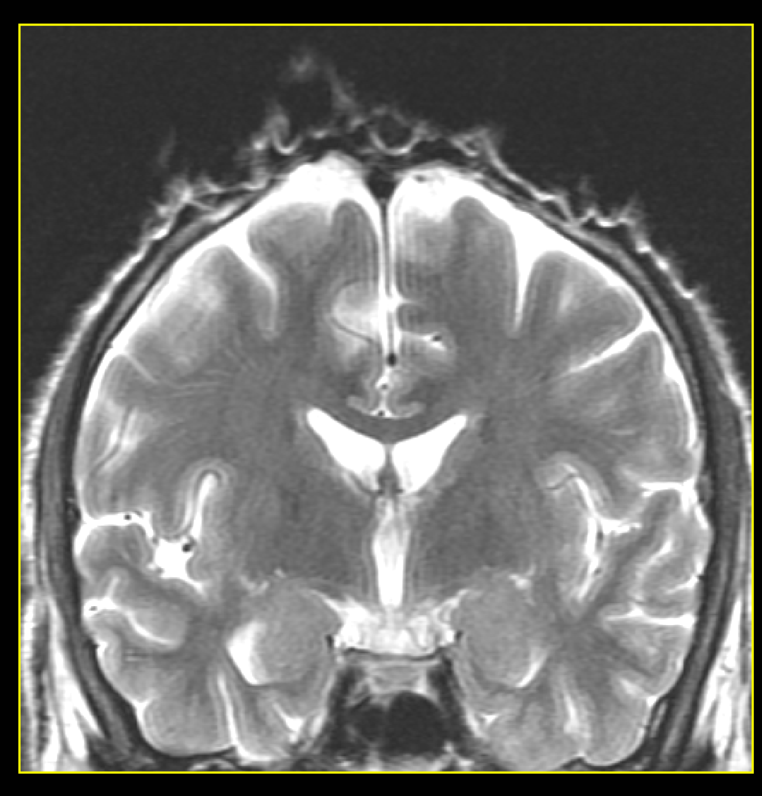


Susceptibilité magnétique

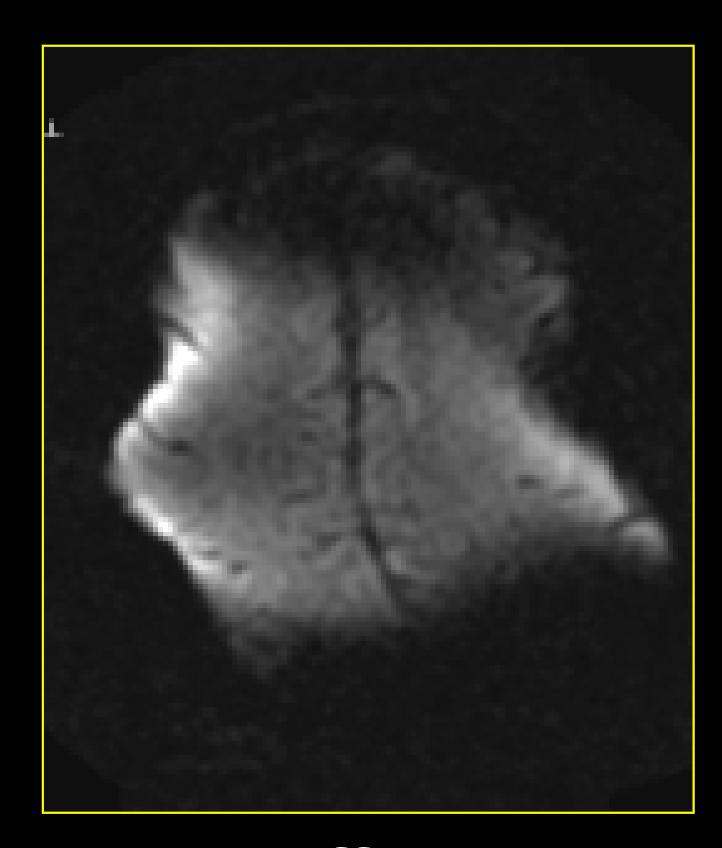
- Comment choisir la direction du codage de phase et de fréquence ?
  - En coronal, on préfèrera placer la phase (φ) en SUP-INF



Quelle erreur a été commise ?

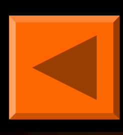


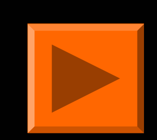
FSE T2



Diffusion

- Femme de 50 ans. Teinture capillaire au carbone

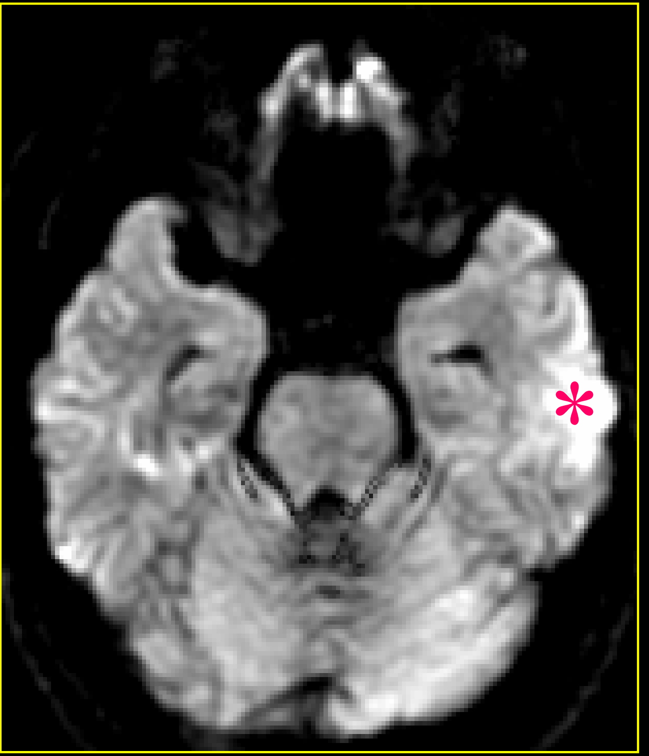


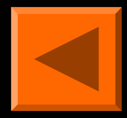



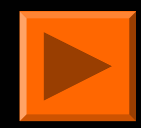
Ces artéfacts sont parfois génants

- Ex. Pour l'analyse du lobe temporal :



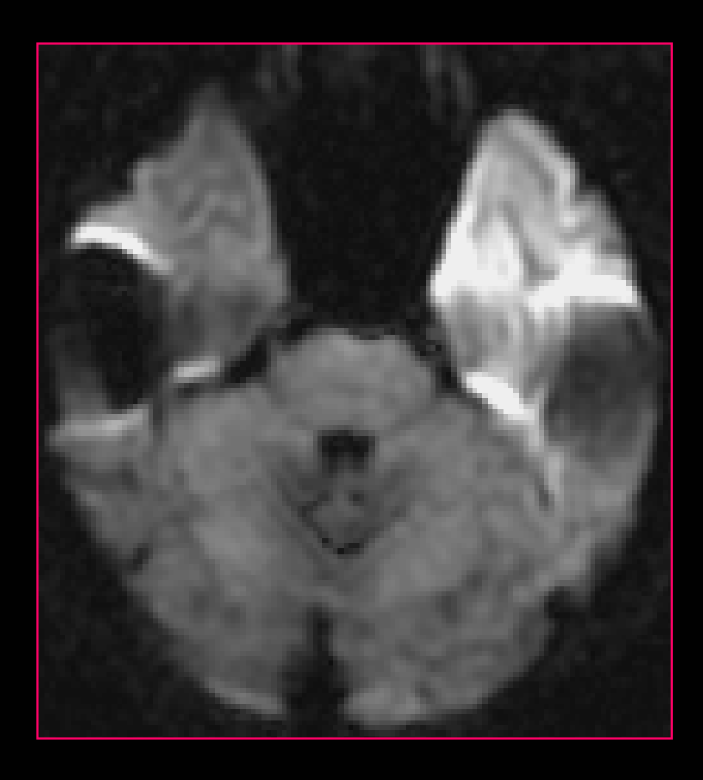




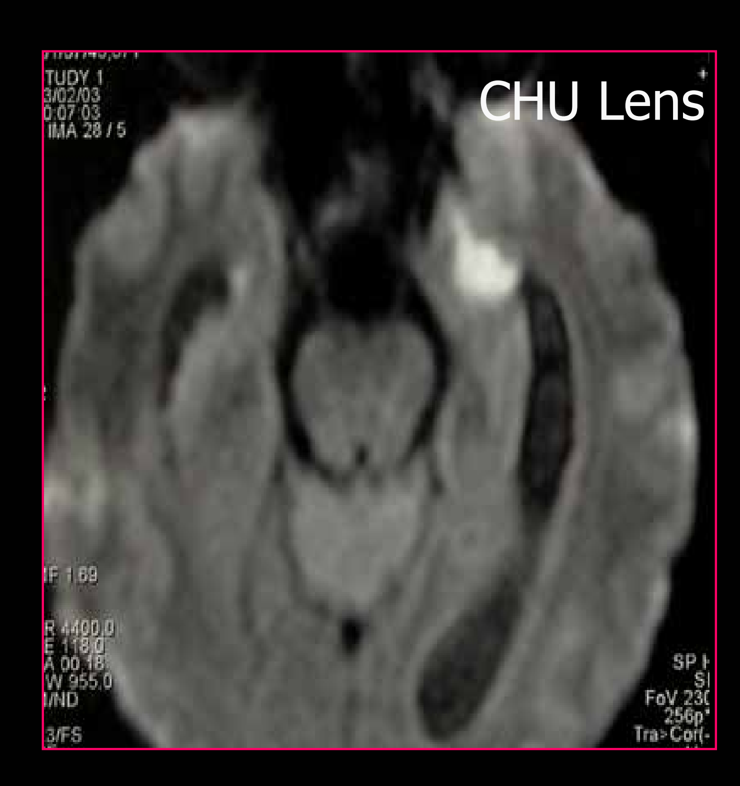


Ces artéfacts sont parfois génants

- Suspicion d'encéphalite virale …



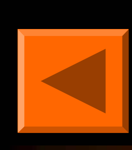
Cas n°1



Cas n°2

Artéfact ou atteinte temporale







Susceptibilité magnétique

- Autres techniques d'acquisition :
  - Si on tient à utiliser l'écho-planar
    - EPI multishot (➘ TE)
    - EPI SENSE ou ASSET (➘ Bdw, TE)



Diff single-shot

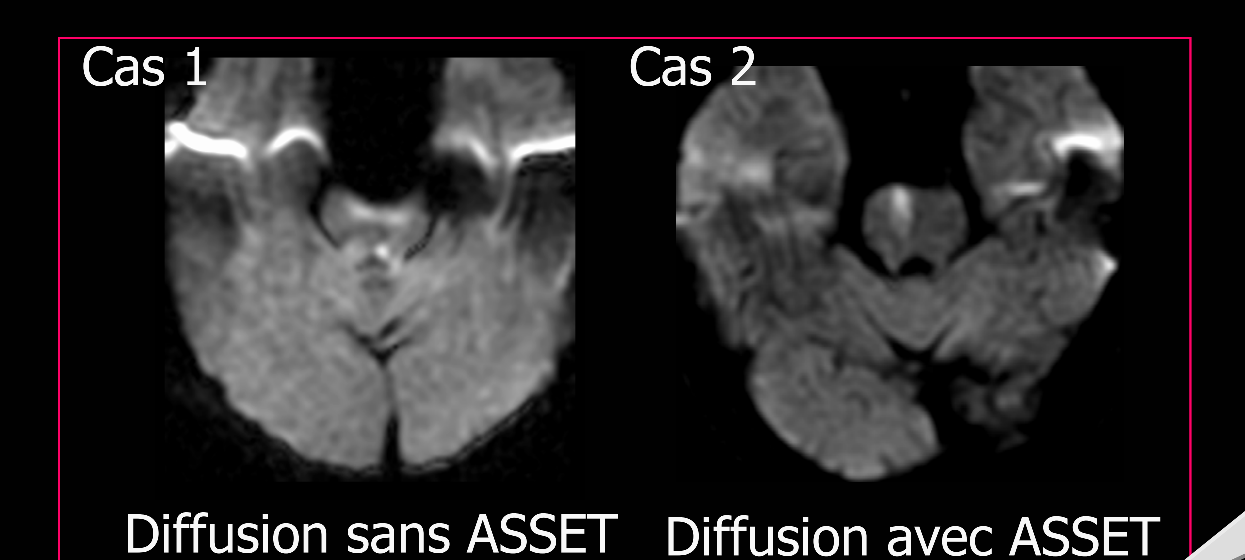


Diff Multi-shot

☺ Disponible chez certains constructeurs

Susceptibilité magnétique

- Autres techniques d'acquisition :
  - Si on tient à utiliser l'écho-planar
    - EPI multishot (↘ TE)
    - EPI + imagerie parallèle SENSE ou ASSET (↘ Bdw, ↘ TE)



Diffusion sans ASSET
TE = 120 ms

Diffusion avec ASSET
TE = 86 ms

Remarque :
Tout ce qui réduit le TE, réduit les artéfacts de susceptibilité magnétique car moins de déphasage

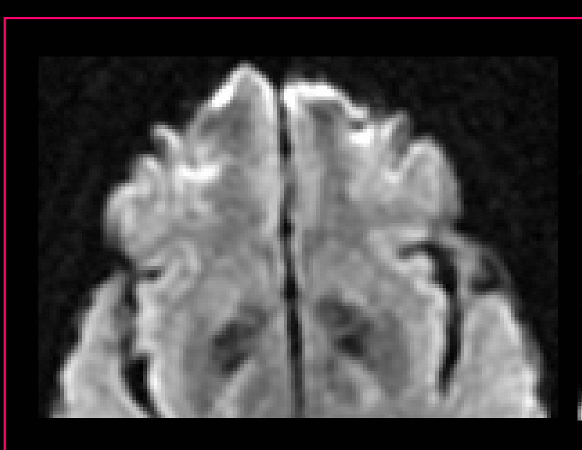
☺ Disponible chez tous les constructeurs si antenne multicanaux

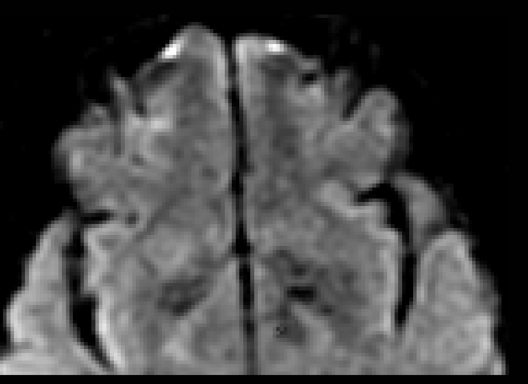


Susceptibilité magnétique

Autres techniques d'acquisition :

- Avec échoplanar (EPI)
  - EPI multishot (↘ TE)
  - EPI SENSE ou ASSET (↘ Bdw, TE)





Diffusion sans ASSET
TE = 120 ms

Diffusion avec ASSET
TE = 86 ms

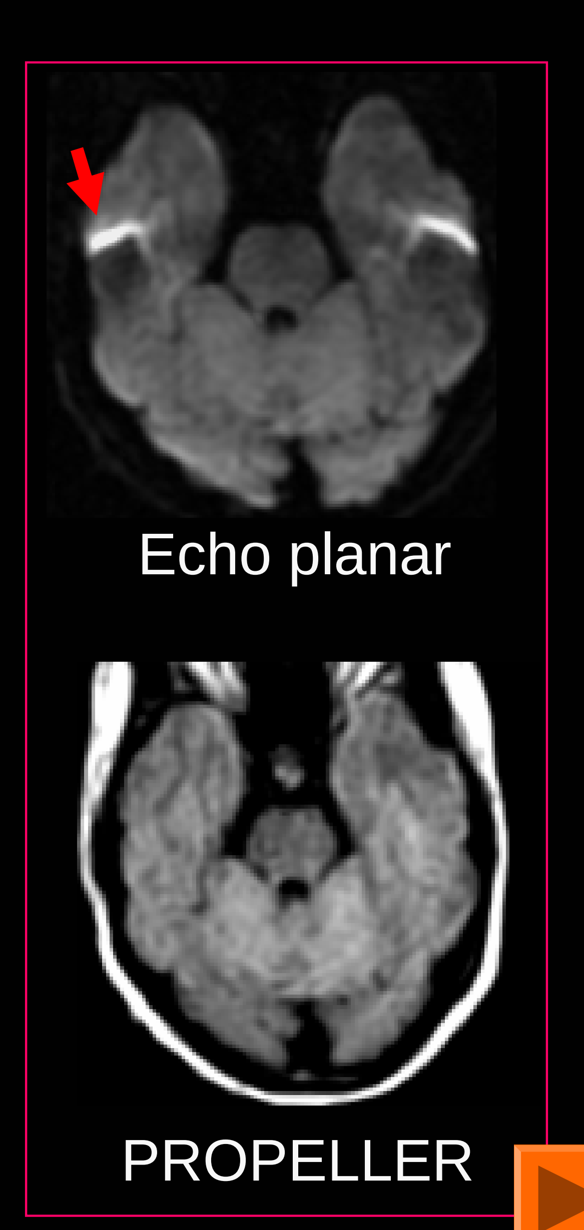
Remarque :
Tout ce qui réduit le TE, réduit les artéfacts de susceptibilité magnétique car moins de déphasages

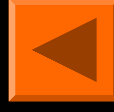
☺ Disponible chez tous les constructeurs avec antennes multicanaux



Susceptibilité magnétique

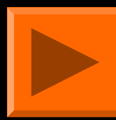
- Méthodes de correction :
  - Avec échoplanar (EPI)
    - EPI multishot (➘ TE)
    - EPI SENSE ou ASSET (➘ Bdw, TE)
  - Sans echoplanar
    - SSFSE, PROPELLER





Quels d'artéfacts reconnaissez-vous ?



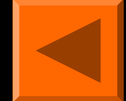


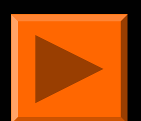
Ils sont de deux types ?

Susceptibilité magnétique

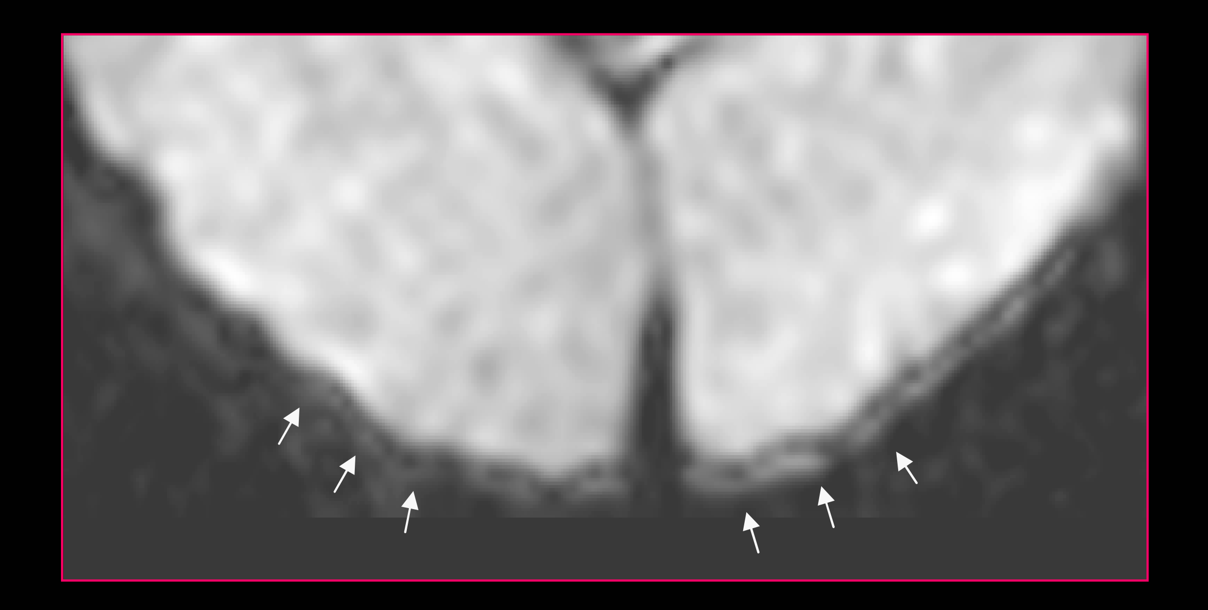
Idem + distorsion du tronc cérébral

Distorsions dûes aux Courants de Foucault

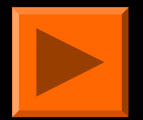




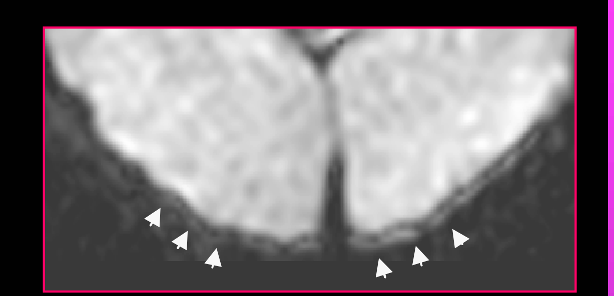
Courants induits de Foucault



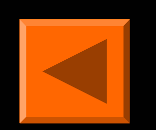
En savoir plus ?



En quoi ce nouvel artéfact est il génant ?



- Les courants induits de Foucault sont responsables de distorsions de l'image
- En pratique clinique, ils ne sont pas très génants mais …
- Ces distorsions dépendent de la direction des gradient de diffusion
- Elles entrainent des erreurs de calcul sur :
  - L'image globale de diffusion
  - Carte d'ADC ou d'anisotropie
- Il est impératif de les corriger pour une quantification précise (tractographie, calcul d'anisotropie…)



Comment le corriger

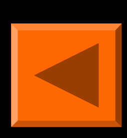




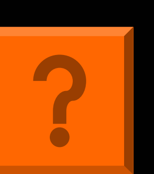
Avez-vous déjà vu ce type d'artéfact ?

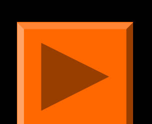
φ

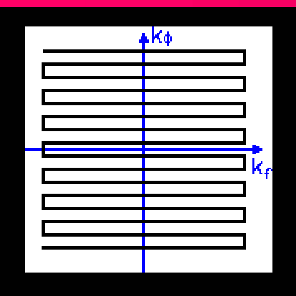
ν







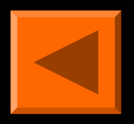




Images fantômes*

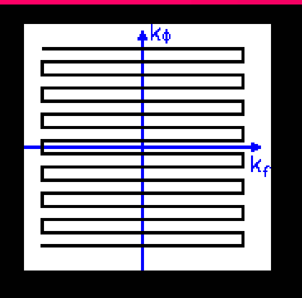
- Elles entraînent des erreurs de calcul d'ADC

- Quand sont elles génantes ?

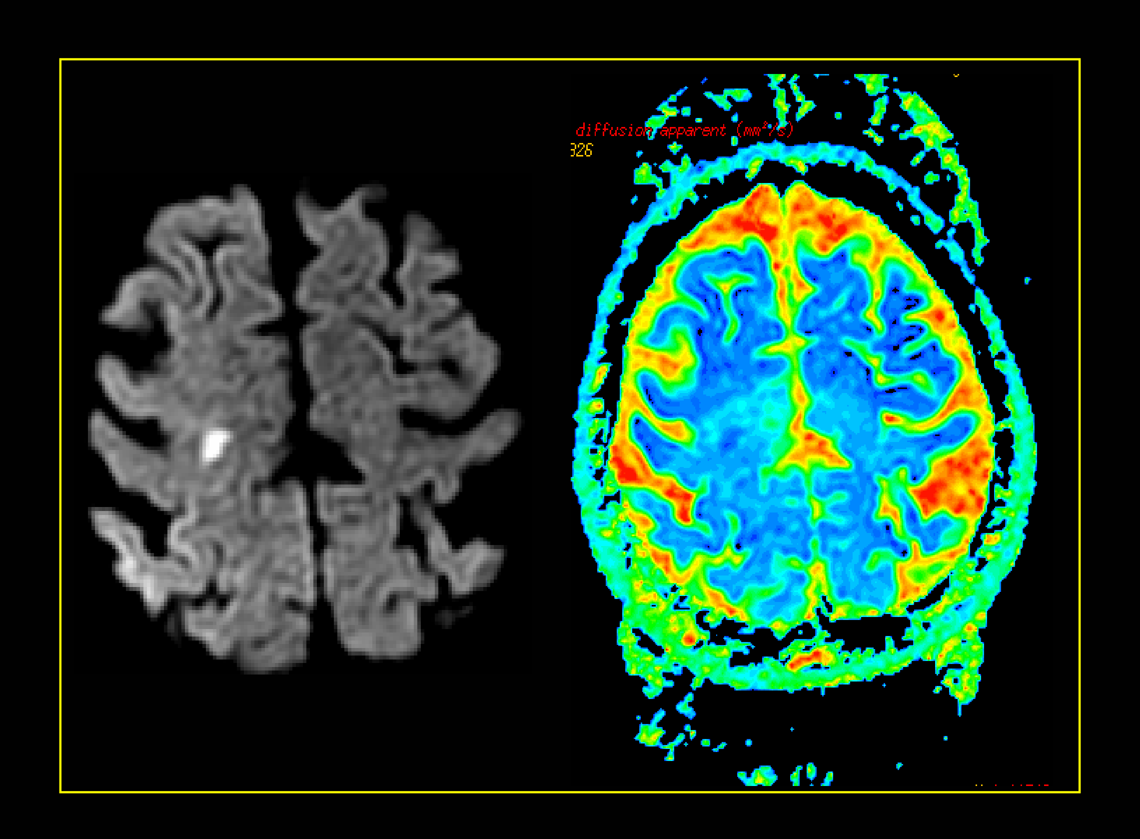


* Nyquist Ghost

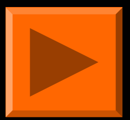


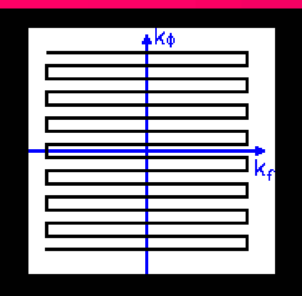


Images fantômes



- Ici, l'artéfact masque la baisse d'ADC de cette lésion ischémique récente

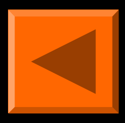
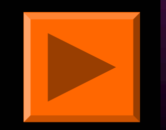


Images fantômes
Comment les corriger ?

- Solutions :
  - ➘ courants induits
  - ➚ homogénéité B0
  - Réglage des gradients
  - EPI FLAIR
  - ➚ FOV
    - Car artéfacts se projettent à la moitié du champ de vue (FOV) dans le sens du codage de phase

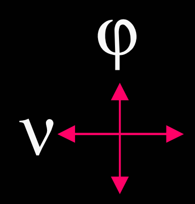
☹ Implique un meilleur réglage (shimming) de votre machine à la prochaine maintenance

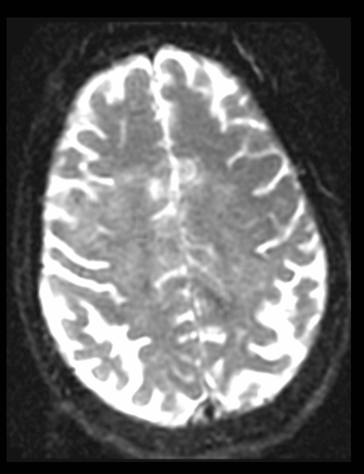
☺ C'est un choix de l'utilisateur à la console

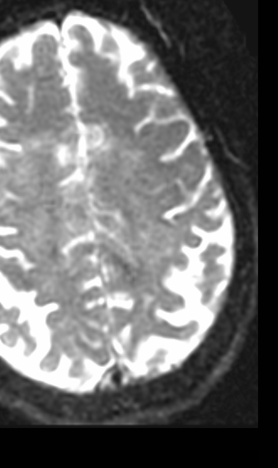



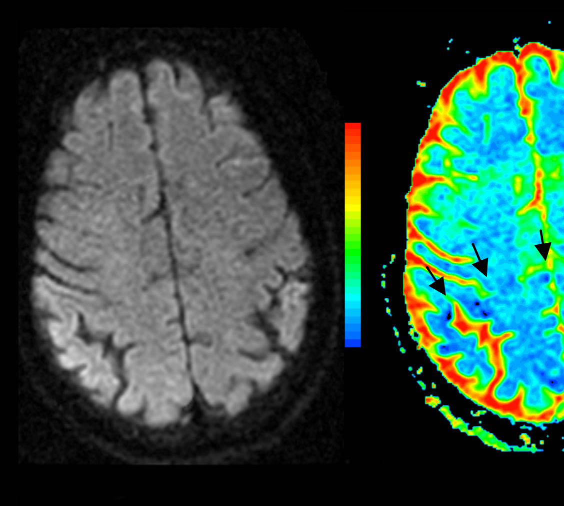
Images fantômes
Elargissement du champ de vue (FOV)

FOV = 18 cm

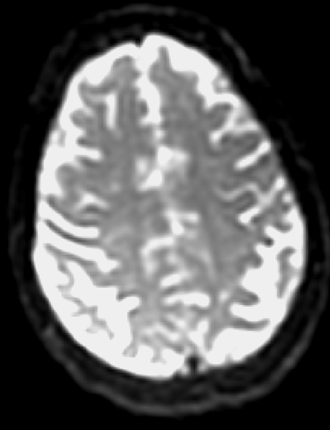


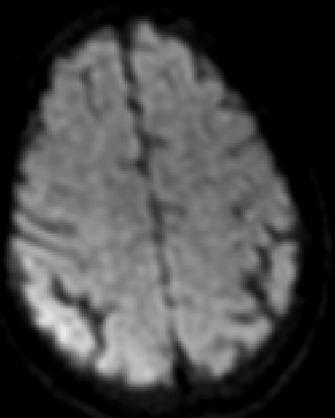


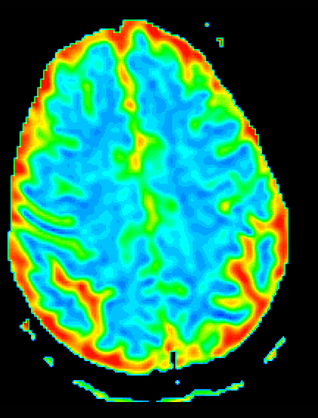




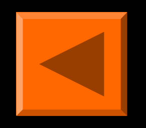
FOV = 32 cm







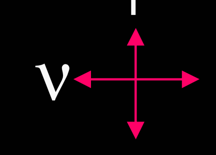
Mais se solde par une perte de résolution



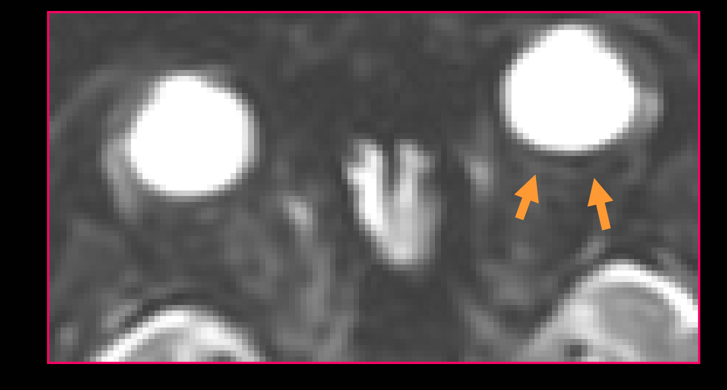


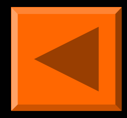
Artéfact de déplacement chimique

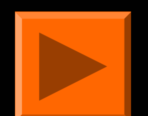
- Commun à toutes les séquences
- Dues aux différence de fréquence de résonance EAU et GRAISSE
  - En écho planar :
    - + marqués qu'en écho de spin
    - Se projettent dans le sens du codage de phase
  - En écho de spin :
    - Se projettent dans le sens de la fréquence !



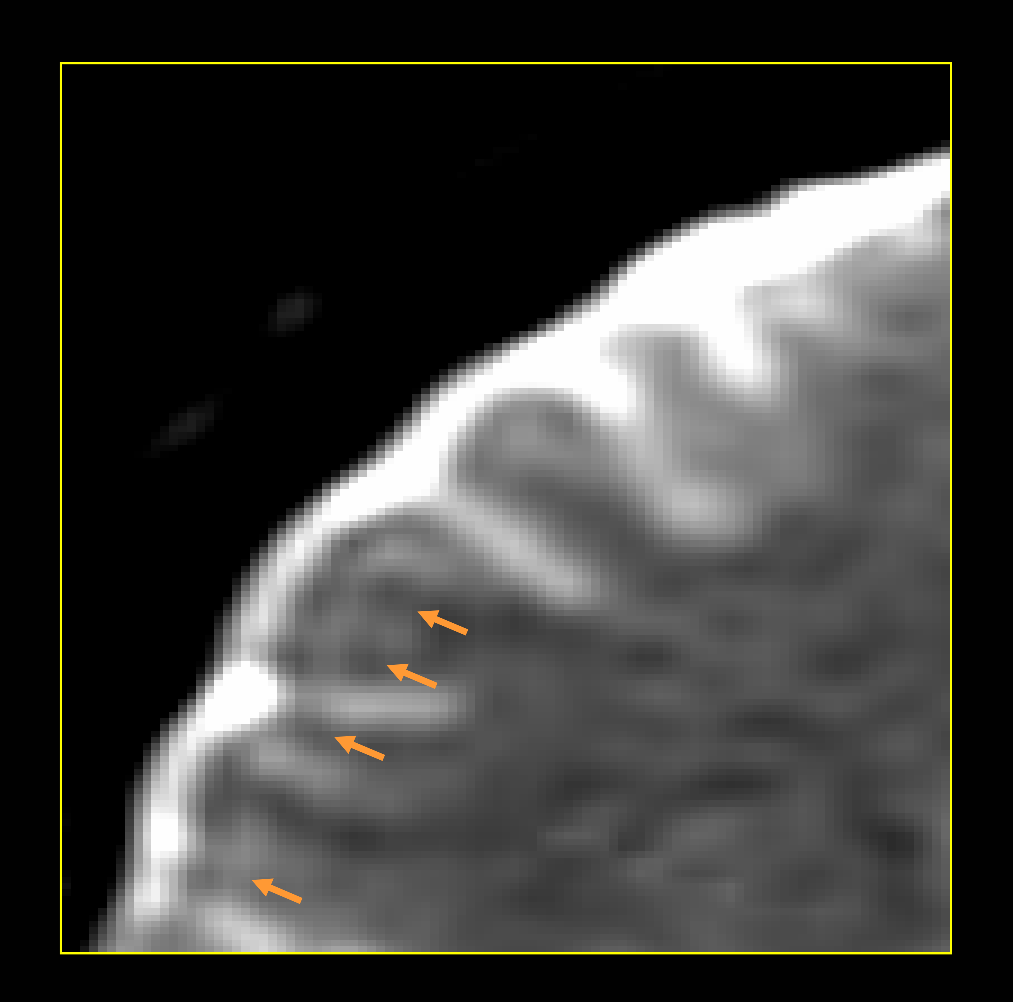
- Solutions :
  - Suppression de graisse





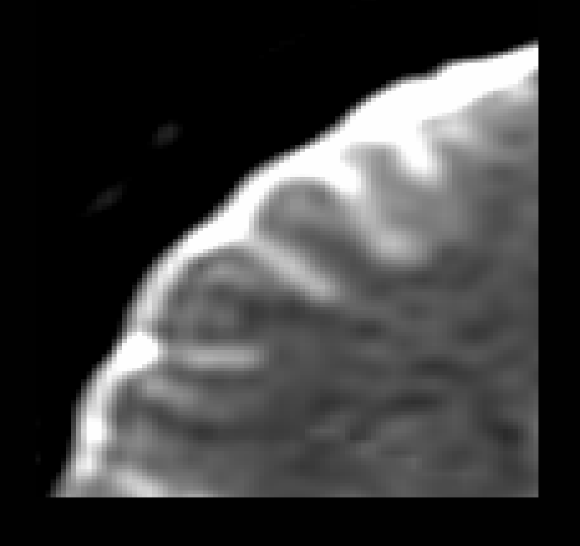


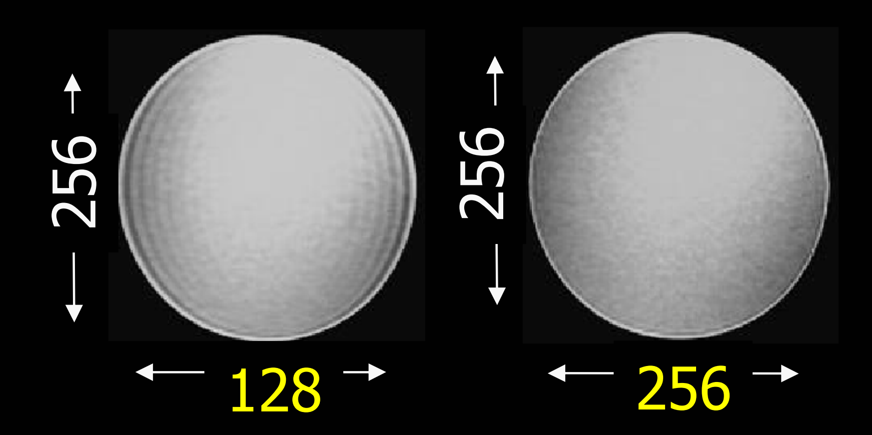
Quel est cet artéfact ?





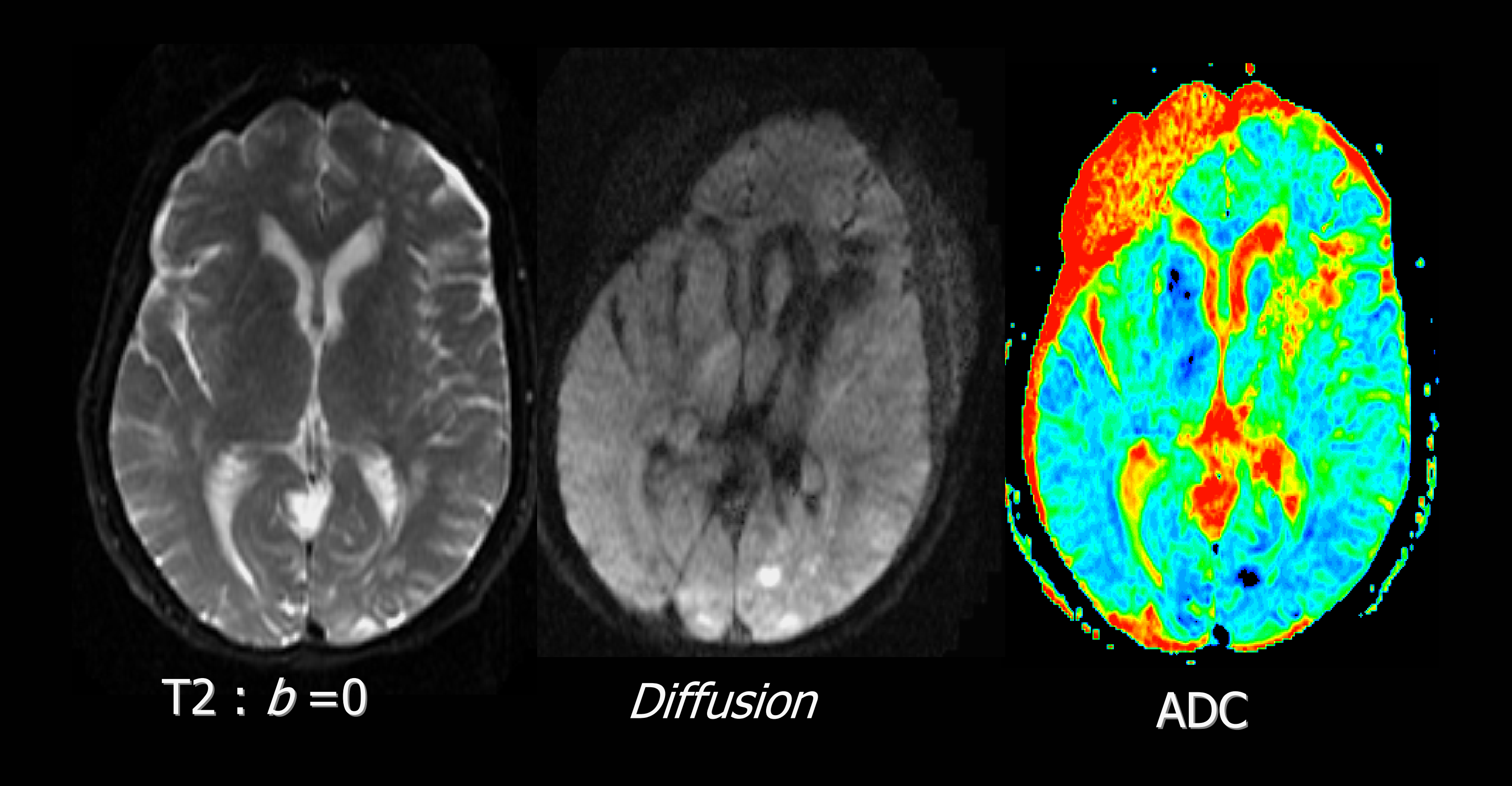
Artéfact de troncature





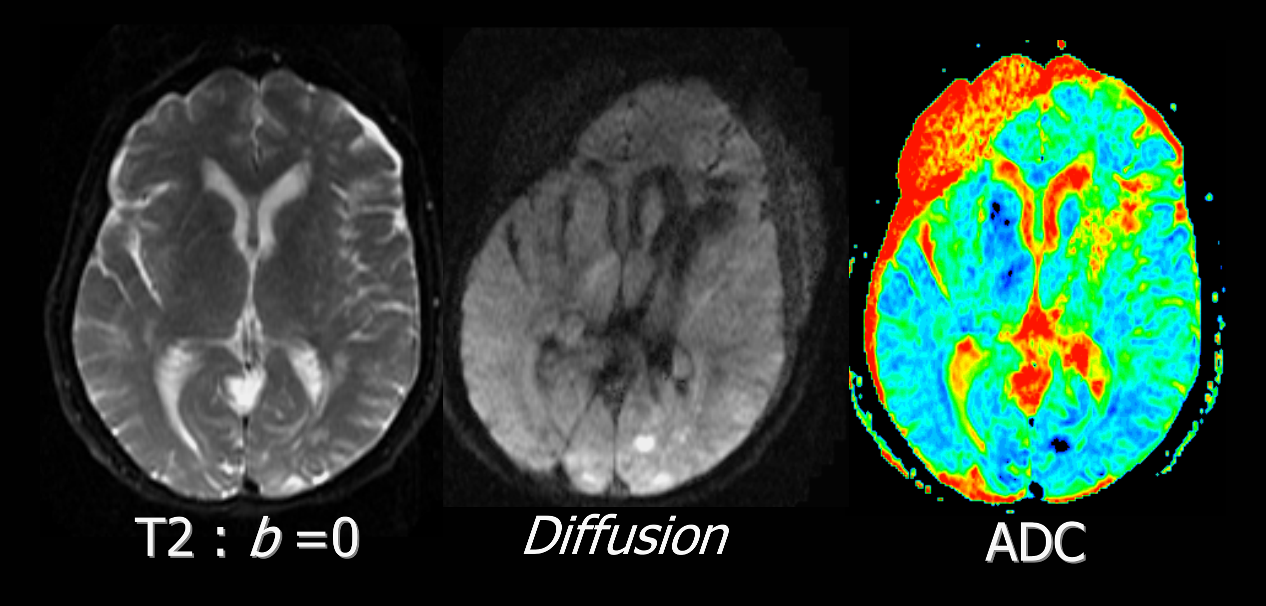
- Alternance de lignes blanche et noire « parallèles » aux interfaces où existent un changement brutal d'intensité (Voute crânienne/encéphale)
- Bien connu à l'interface LCS/moelle en T2 (peut entrainer de fausse image de synringomyélie)
- Dû au nombre fini de pas d'encodage utilisés par la transformée de Fourier pour reconstruire l'image
- Solution : augmenter le nombre de lignes (matrice)

Quel est cet artéfact ?



Artéfact de mouvements

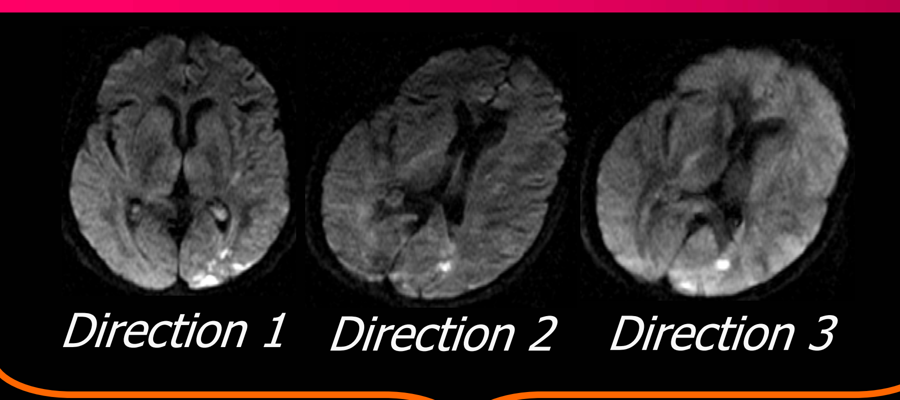
- Tête, respiratoires, batt. cardiaques, vibrations du lit. Ici, c'est le patient qui bougeait la tête !
- Single shot EPI
  - Peu sensible car 1 image≈100ms



Pourquoi l'image en b_0 est elle parfaite alors que l'image de diffusion et l'ADC sont artéfactés




Artéfacts



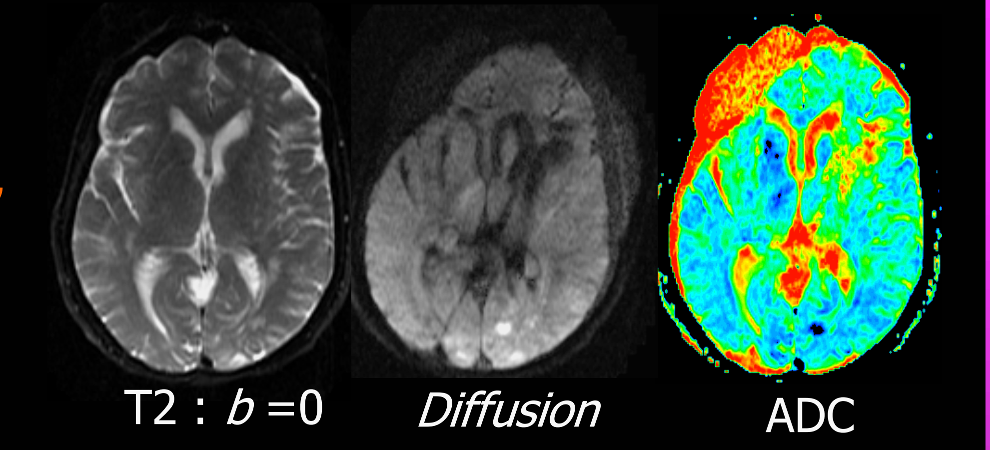
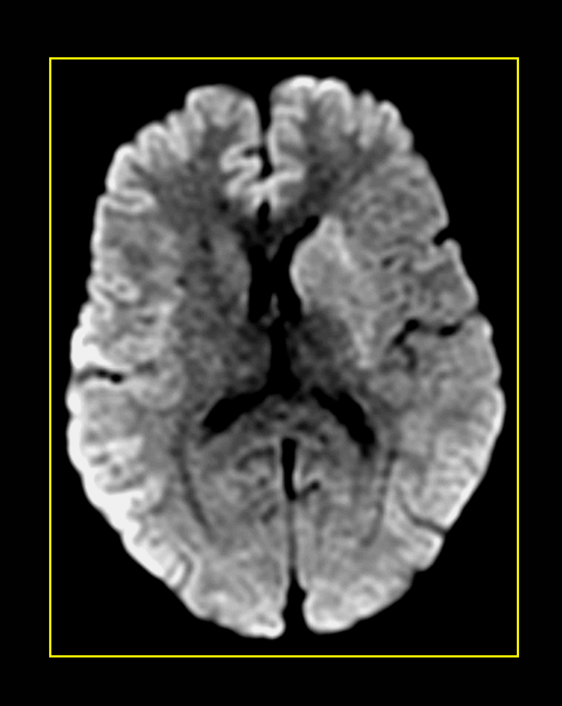


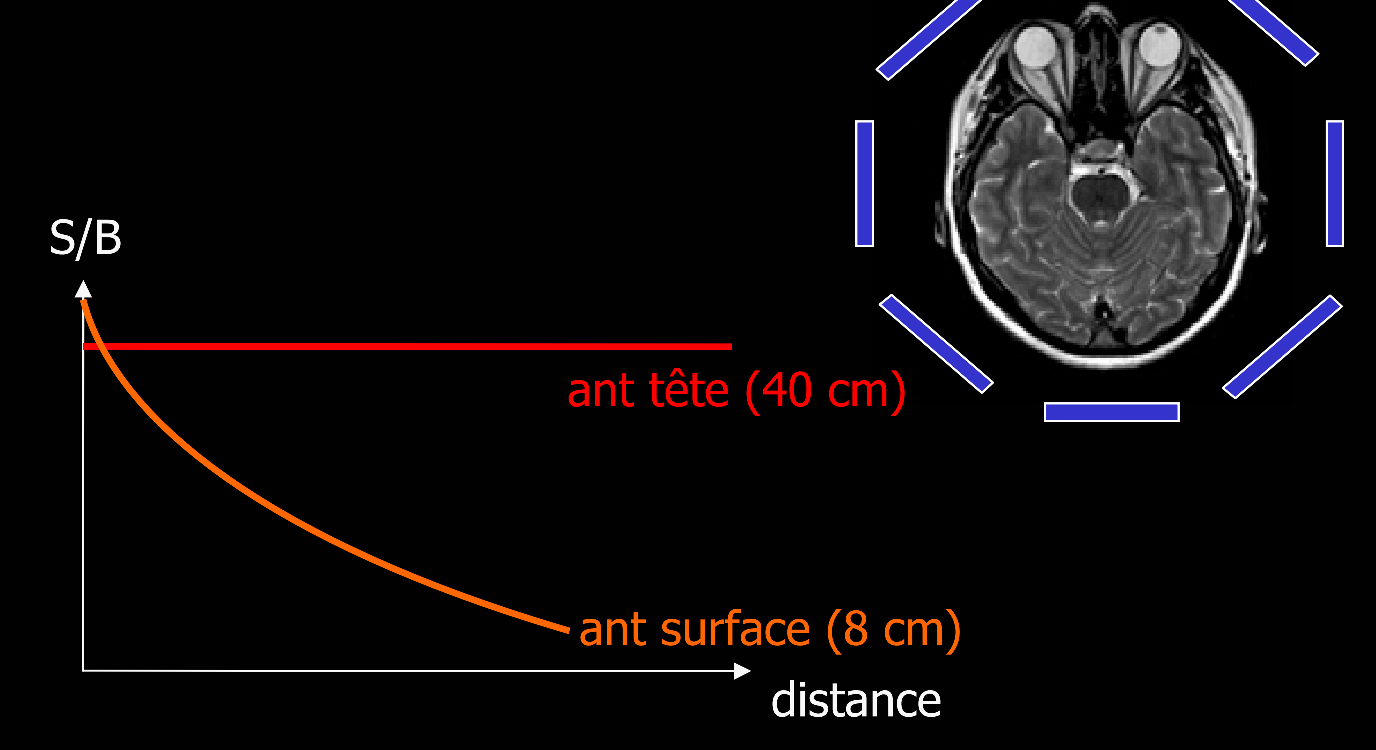
Image finale de diffusion
= moyenne géométrique des trois images

- Acquisitions successives d'images en b_0, puis directions 1, 2, 3
- Si le tête bouge (ici entre direction 1 et 2), l'image moyennée sera faussée, voire ininterprétable
- Solution : conserver et interpréter les images brutes (direction 1, 2 …)
- Calcul d'ADC entre b_0 et b_{1000} : Faux si la position de la tête change entre l'acquisition des images b_0 (acquise en premier) et les images de diffusion

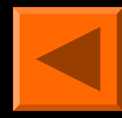


Surbrillance du cortex

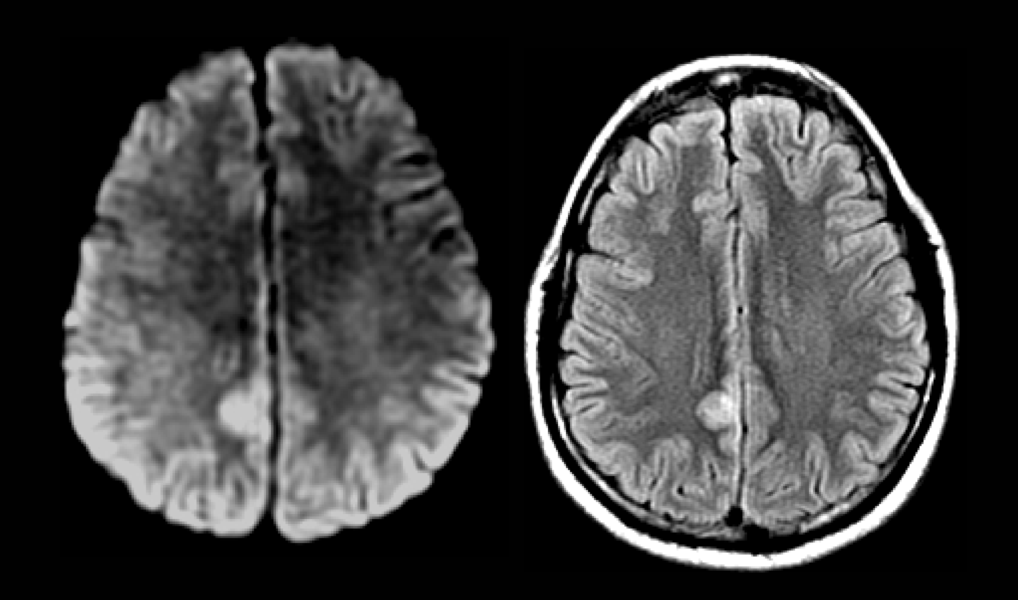




- Avec les antennes multicanaux (de surface), le signal est plus important à proximité de l'antenne
- Ceci entraine une surbrillance du cortex



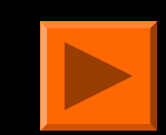




- En pratique, ceci peut être génant en cas de lésion du cortex, pour déterminer son étendue
- Solution :
  - comparer aux autres séquences (FLAIR)
  - génerer une image exponentielle (e^{-bADC})
  - Calculer l'ADC (car ce problème existe sur l'image b_0 et b_{1000} donc, pas sur la carte d'ADC qui repose sur un rapport Signal b_{1000}/Signal b_0)



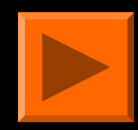




Images pièges

Les images de diffusion sont pondérées en T1, DP, T2 et en diffusion

- T2-shine through
- T2 black-out
- T2 wash-out

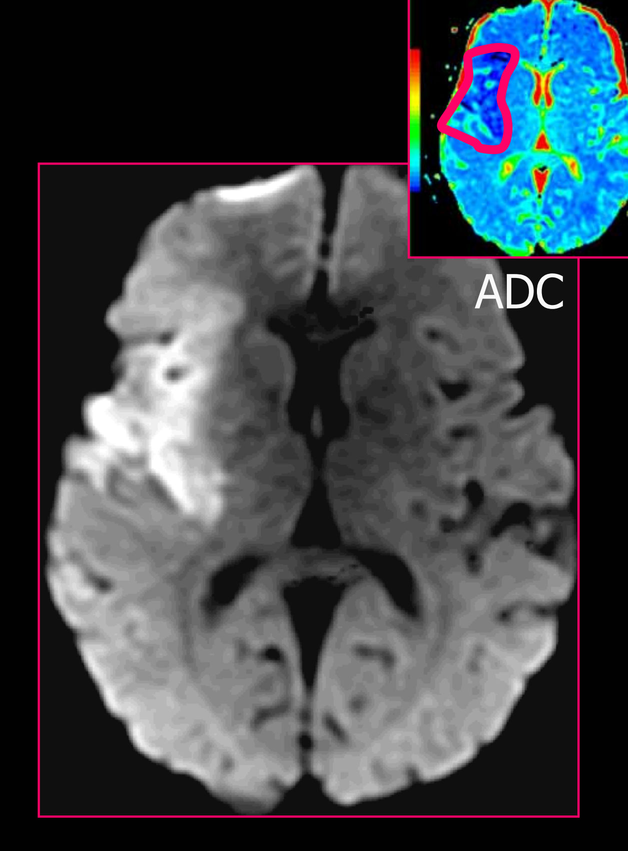



Images pièges

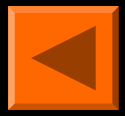
En temps normal …

① milieu à diffusion élevée (ADC élevé) ➡ hyposignal

② milieu à diffusion basse (ADC bas) ➡ hypersignal



b=1000 s/mm²




Ne signifie pas toujours

Hypersignal Diffusion → ADC diminué



T2-shine through

En savoir plus ?

Hyposignal Diffusion → ADC augmenté

T2 black-out

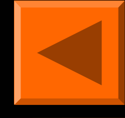
En savoir plus ?

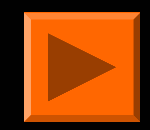
Diffusion Normale → ADC normal

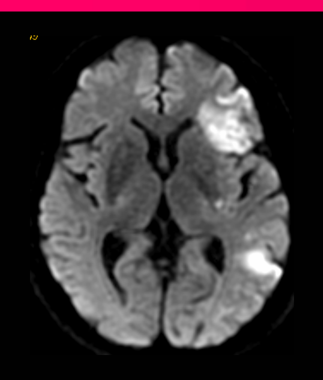


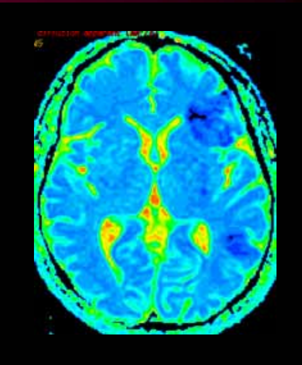
T2 wash-out

En savoir plus ?







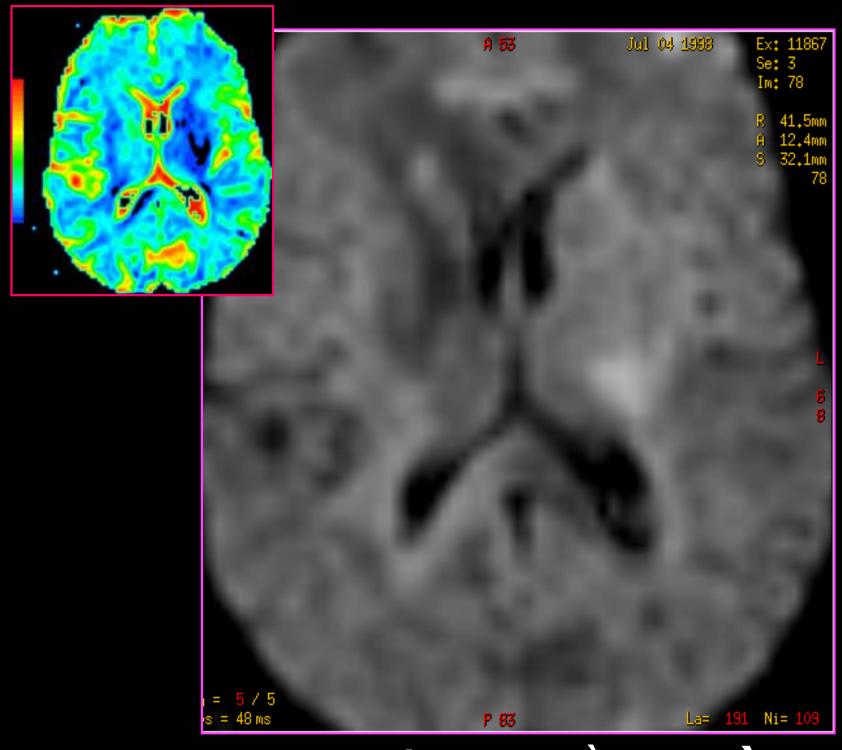


- Ces différentes situations soulignent les pièges potentiels d’interprétation si l’analyse du signal est basée sur les seules images de diffusion

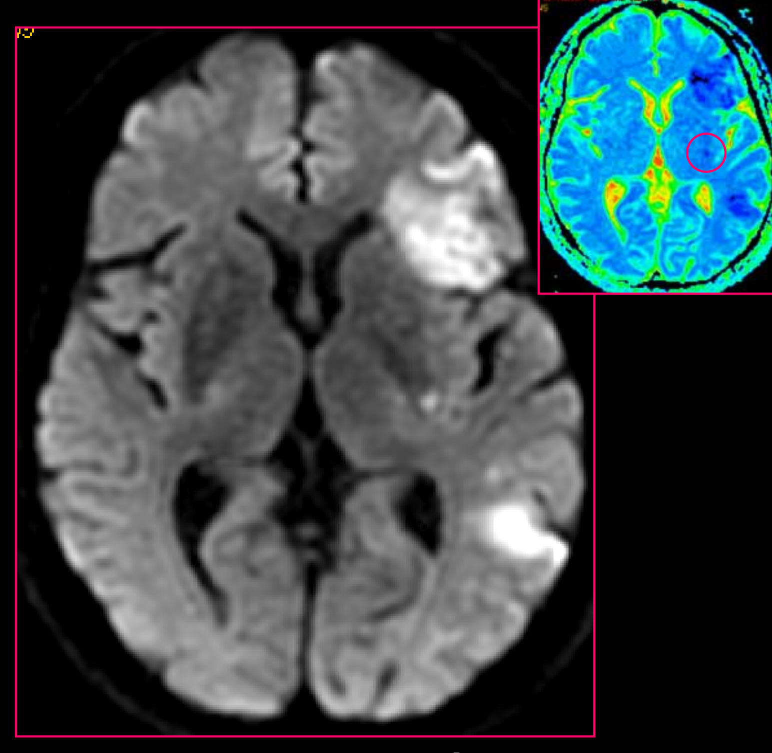
- Ainsi, le calcul d’ADC permet de s’affranchir de cet « effet T2 » et d’obtenir une information « pure » sur la diffusion

- Ce calcul doit être systématique chaque fois qu’existent des modifications importantes du signal (hyper ou hyposignal) sur les séquences pondérées en T2 (FLAIR ou écho de spin rapide T2) pour éviter les erreurs d’interprétation des images de diffusion

Conclusion



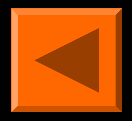
Fin du XX ème siècle



Début du XXI ème siècle

Comme le montrent ces images, la qualité de nos séquence s'est beaucoup améliorée ces dernière années.

Puissent les prochaines années être aussi riches dans ce domaine …






C'est la fin de ce diaporama

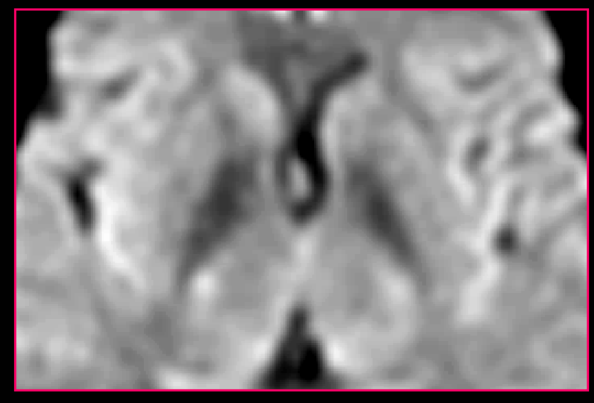
Nous espérons qu'il a répondu à vos attentes

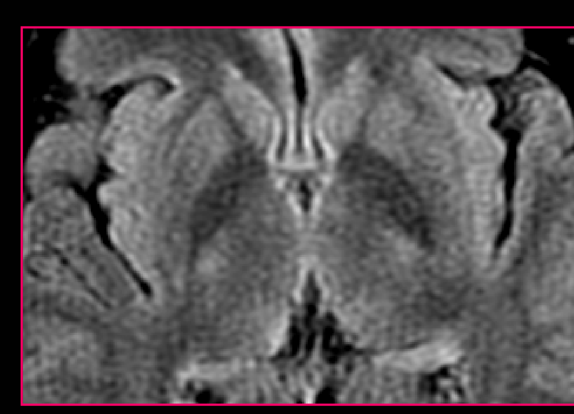
Retour à la 1ère diapo !

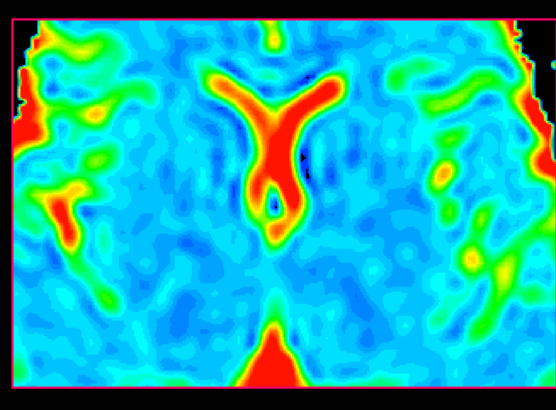


Hyposignal des noyaux gris

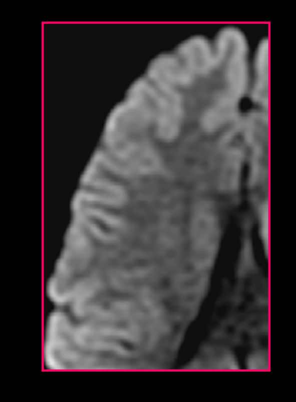
- Les noyaux gris sont généralement en hyposignal en diffusion en raison d'une surcharge ferrique.
- Cet hyposignal est aussi visible en T2 et sur la séquence écho-planar acquise à b=0 s/mm^2.
- L'ADC varie selon l'importance de l'effet de susceptibilité magnétique.


Diffusion


FLAIR


ADC





- Ceci s’explique par le fait que la substance grise à un signal plus élevé que la substance blanche en séquence pondérée en T2, ou effet T2. Glossaire
- Chez l’adulte, l’ADC de la substance blanche est semblable à celui de la substance grise.



- Les images de diffusion dite isotropes ont généralement un signal relativement homogène. Toutefois, des hypersignaux discrets sont souvent visibles dans le bras postérieur des capsules internes, le long des faisceaux cortico-spinaux, et au niveau de la décussation des pédoncules cérébelleux supérieurs.

- La diffusion le long de ces faisceaux est fortement anisotrope. Ces hypersignaux, du au fait que les mouvements de diffusion sont préférentiellement orientés dans certaines direction de l'espace, ne sont qu'imparfaitement corrigés par le moyennage d'images de diffusion acquises dans 3 directions orthogonales de l'espace.

Glossaire



Glossaire

- Effet T2 ou « T2-shine through » : traduit la persistance de l'hypersignal T2 du à l'allongement du temps de relaxation T2 sur l'imagerie de diffusion. Au contraire, l'effet « T2-dark through » traduit la persistance de l'hyposignal T2 du à raccourcissement du temps de relaxation T2 sur l'imagerie de diffusion
- Image de diffusion isotrope : elle est le résultat de la combinaison de trois images acquises avec des gradients de diffusion appliqués dans trois directions orthogonales de l'espace (xx', yy', zz'). C'est l'image qui est habituellement transmise au clinicien.
- Anisotropie : Hétérogénéité de la vitesse de déplacement des molécules d'eau selon les directions de l'espace. La substance blanche est un tissu fortement anisotrope.

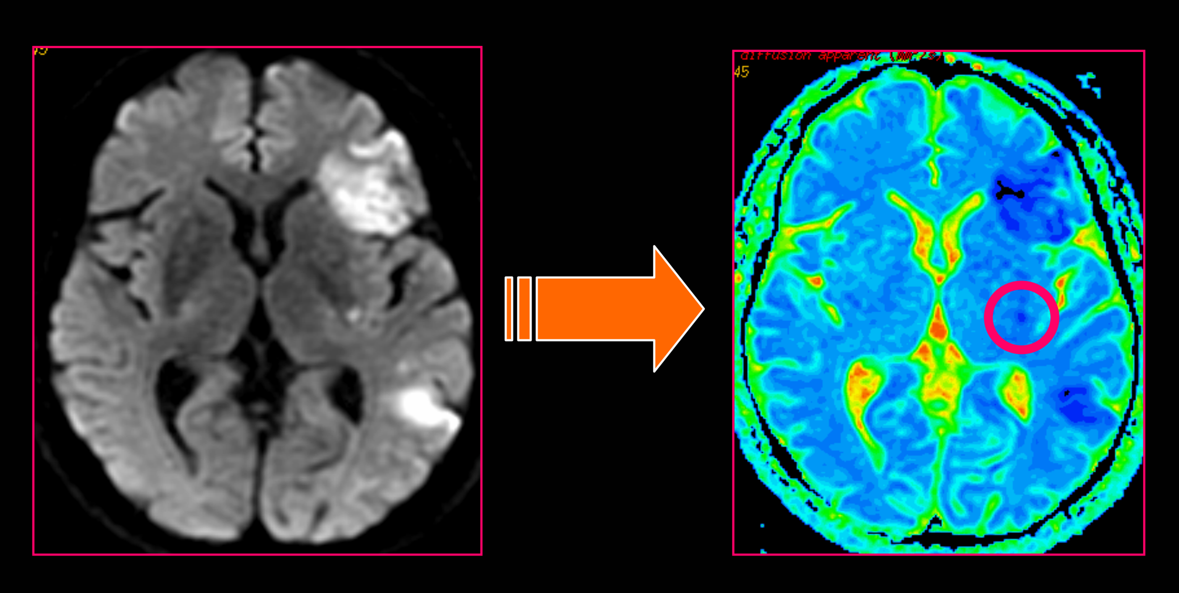


Glossaire

- L'imagerie de diffusion est acquise grâce à l'introduction de gradients de diffusion
- Le paramètre *b,* ou facteur d'atténuation, est une constante qui dépend des caractéristiques des gradients de diffusion
- Il indique la pondération en diffusion d'une séquence
- Plus *b* est élevé, plus la séquence sera pondérée en diffusion
  - Si b=0 s/mm^2, il n'y a pas de gradients de diffusion. La séquence est simplement pondérée en T2
  - b=1000 s/mm^2 est la valeur la plus communément utilisée



Ischémie aiguë



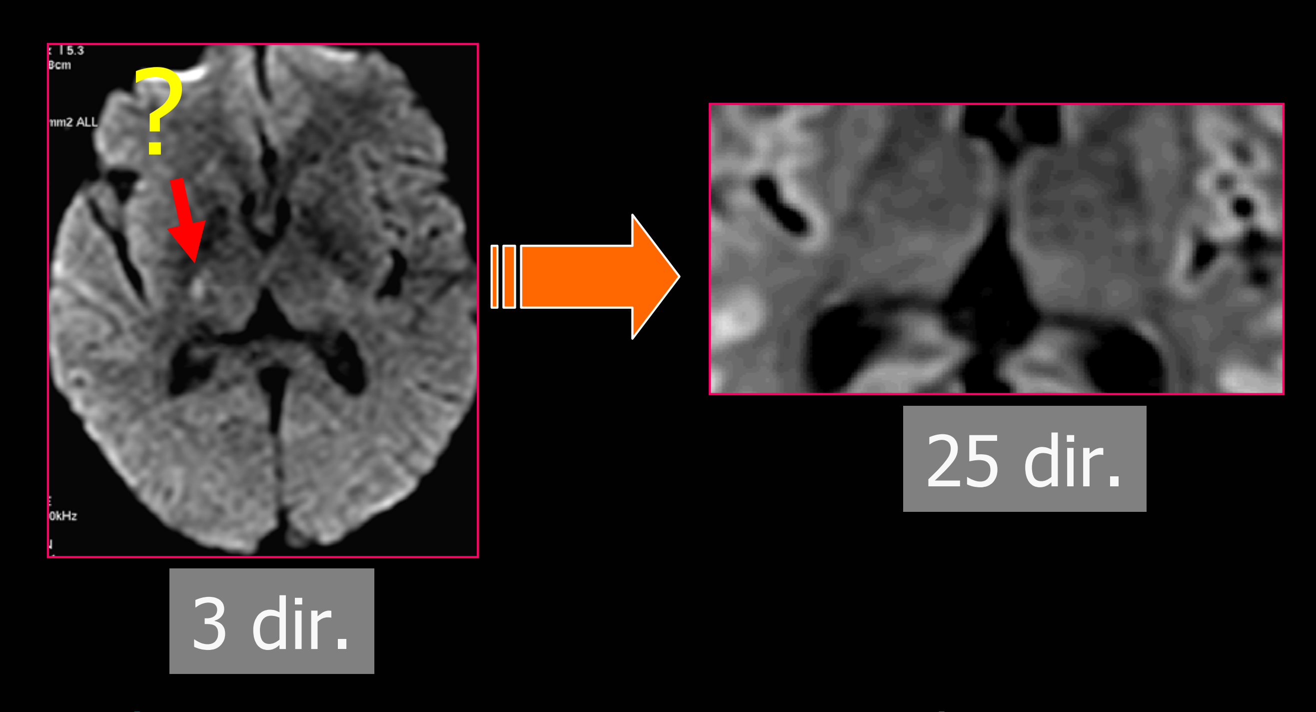
Difficulté d'interprétation : Ces hypersignaux, en particulier ceux du bras postérieur des capsules internes, peuvent être difficiles à distinguer d'un accident accident ischémique capsulaire.

Solution : Le calcul d'ADC, s'il montre une baisse d'ADC, aide au diagnostic de lésion ischémique.

Ici, accident ischémique artériel aigu



artéfact d'anisotropie

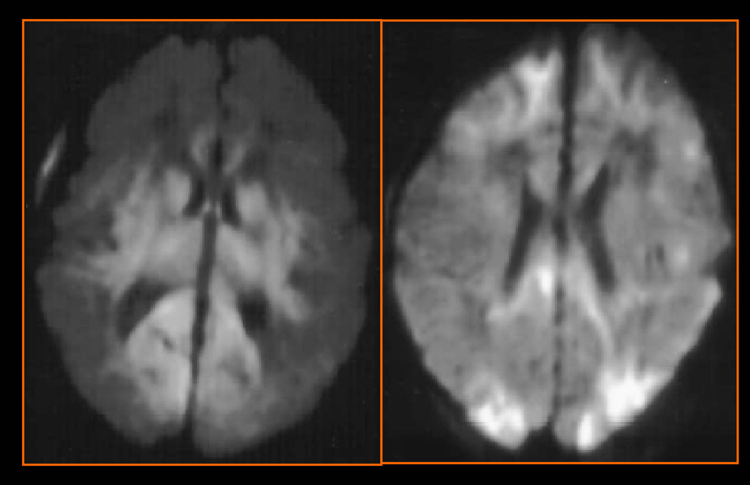


Difficulté d'interprétation : ici, doute sur un accident ischémique profond

Solutions : La bilatéralité des hypersignaux et l'absence d'anomalie franche en FLAIR sont de bons arguments en faveur d'artéfact.
L'hypersignal en diffusion, est ici, du au fait que les mouvements de diffusion sont préférentiellement orientés le long du faisceau corticospinal. Cet effet d'anisotropie n'est qu'imparfaitement corrigé par le moyennage d'images de diffusion acquises dans 3 directions de l'espace. En cas de doute diagnostique, l'acquisition d'images dans plus de directions de l'espace (ex 25 directions) permettra d'obtenir une image finale plus homogène avec moins d'artefacts d'anisotropie. Ici, il s'agissait d'un artéfact !

- Chez le nouveau né et le jeune enfant, l'ADC est plus élevé que chez l'adulte en particulier dans la substance blanche

- Ainsi, sur les images de diffusion, la substance blanche frontale, peu myélinisée, est en hyposignal. Cet effet s'estompe lors de la maturation cérébrale et de la myélinisation progressive, avec une baisse d'ADC qui rejoint celles observées chez l'adulte



Takeoka, et al. Pediatr Neurol. 2002

Deux exemples d'ischémie bilatérale néonatale

Difficulté d'interprétation : l'ischémie néonatale est souvent bilatérale et parfois difficile à distinguer au sein d'un parenchyme présentant des hétérogénéités de signal bilatérales

Solution : comparer les images et valeur d'ADC à celle de sujets sains de même âge

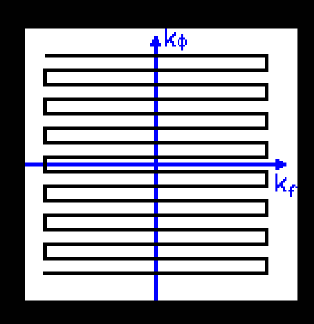
Plexus choroïdes

- Habituellement, les ventricules sont en hyposignal en diffusion du fait d'un contenu liquidien. Les plexus choroïdes sont parfois en franc hypersignal sur les images de diffusion, avec un ADC plus bas que celui du liquide cérébrospinal

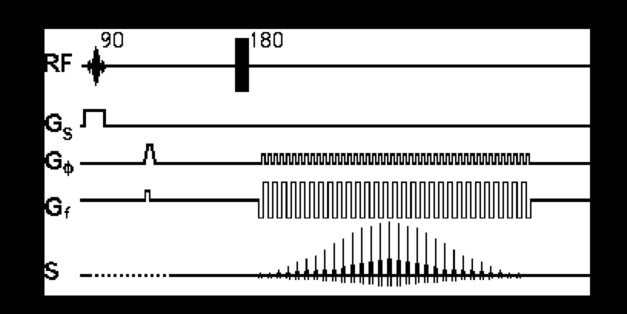
- Cet hypersignal serait du à la présence de kystes gélatineux des plexus choroïdes et n'est pas pathologique.

A noter l'existence d'une lésion ischémique profonde droite (flèche)

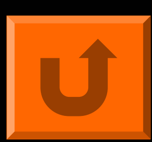




Echo planar



- L'echo planar est une séquence de la famille des écho de gradient rapides avec une acquisition après une seule impulsion d'excitation.
- L'acquisition se fait sur toute la periode d'évolution du gradient de lecture qui oscille rapidement d'une amplitude positive à négative décrivant chaque ligne du plan de Fourier dans un sens puis dans le sens inverse. Le gradient de codage de phase est constitué de petit blips qui permettent de passer d'une ligne à la suivante.
- Une coupe est acquise en moins de 100 ms.



Résumé

Objectifs : Présenter les aspects normaux de l'encéphale en séquence de diffusion ainsi que les images pièges normales et pathologiques et comprendre leur origine. Expliquer l'origine des artéfacts liés à la technique employée et discuter des solutions possibles pour les identifier ou les supprimer.

Matériels et méthodes:

Illustration à partir d'images de diffusion sélectionnées issue du banque de donnée d'un département de Neuroimagerie utilisant cette technique en routine.

Résultats :

Après un rappel simplifié des paramètres contribuant à la formation du signal et des facteurs de qualité de l'image propre à l'imagerie de diffusion, nous illustrerons successivement l'aspect normal de l'encéphale en diffusion, les images pièges liées essentiellement à la pondération T2. Les artefacts suivants seront détaillés : courants de Foucault, effet de susceptibilité magnétique, images fantômes en N/2, déplacement chimique, mouvements, artéfacts dus à l'utilisation d'antenne multicanaux.

Conclusion :

La connaissance des images pièges normales et pathologiques ainsi que des artéfacts en imagerie de diffusion permet d'éviter les erreurs diagnostiques.



Susceptibilité magnétique

- L’ écho planar est très sensibles aux artefacts de susceptibilité magnétique. Ils entrainent des distorsions visibles près de la base du crane, à l’interface entre l’air et le parenchyme cérébral
- Ils sont marqués dans le sens du codage de phase car l’erreur s’accumule au sein du train d’acquisition qui est long. Noter que ces artefacts augmentent avec la durée du temps de lecture (TE), par exemple si on augmente la matrice
- En coupe axiale, on préfère un codage de phase dans la direction antéro-posterieure (fig 1) car les distorsions sont trop importantes lorsque le codage de phase (φ) est placé en Droite-Gauche (fig 2).

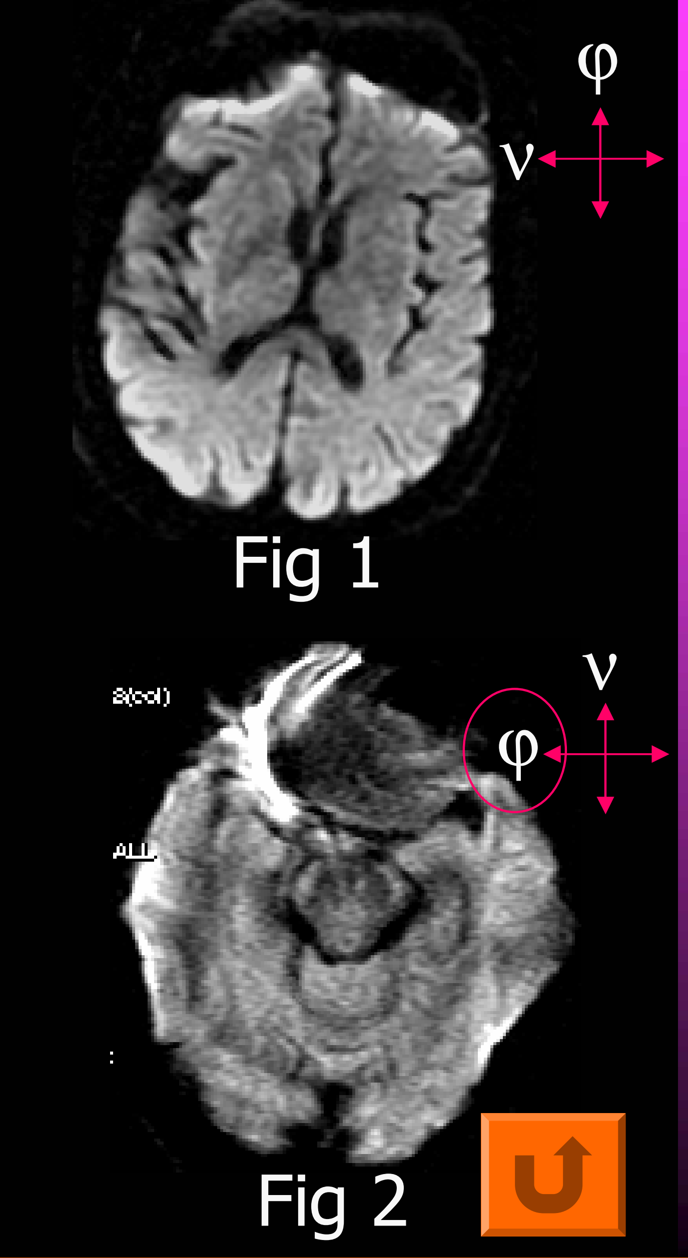
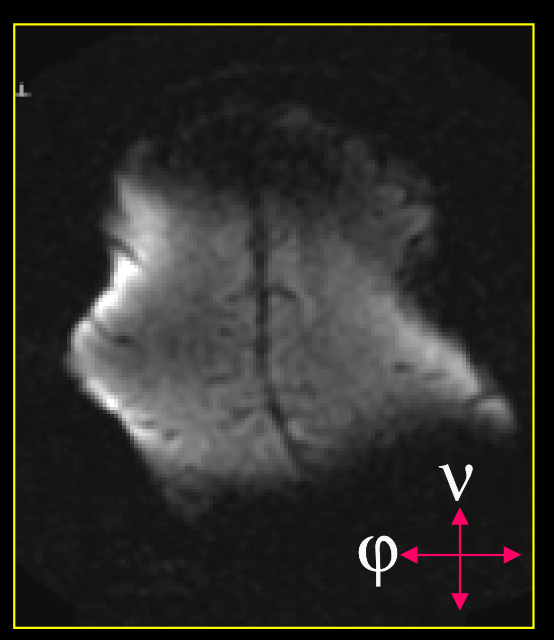


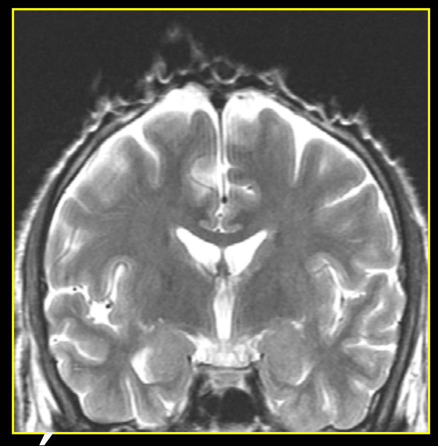
Fig 1

Fig 2

C'est une erreur de choix de la direction du codage de phase







Écho de spin rapide

- Les artéfact de susceptibilté magnétique, déjà visibles en écho de spin rapide, s'aggravent en écho-planar et entrainent des distorsions majeures
- Solution :
  - Placer la phase en ANTERO-POST (en coupe axiale)
  - Réduire la taille de la matrice
  - Ne pas utiliser l'échoplanar en single shot (voir plus loin)



Susceptibilité magnétique

- Solution : le plus simple est de regarder les séquences en écho de spin rapide qui sont moins sujettes à ce type artéfacts.



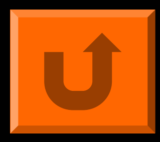



Ici, deux cas d'encéphalite à VZV



Courants de Foucault

- La loi de Lenz dit qu'un changement de flux magnétique traversant une boucle, induit un courant électrique dans cette boucle, créant lui-même un flux de champ magnétique qui s'oppose au premier.
- La forme des gradients est modifiée par ces courants induits ou courants de Foucault (Eddy current).
- Ces courants sont importants en cas de changements rapides de gradients de champ magnétique, donc en écho planar (gradients ON/OFF).



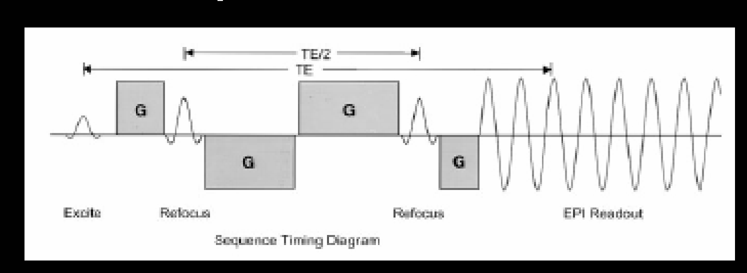
Correction des distorsions dues aux courants induits

- Pré-compensation
  - distorsion des gradients avant l'acquisition pour compenser les déformations induites

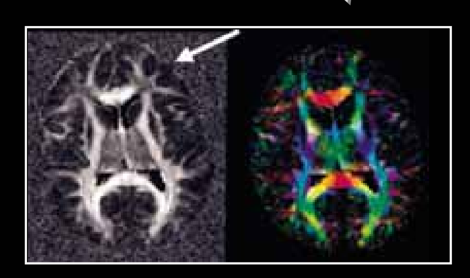
☺ Disponible chez certains constructeurs

- A l'acquisition
  - Dual spin écho diffusion

Reese et al. MRM 2003

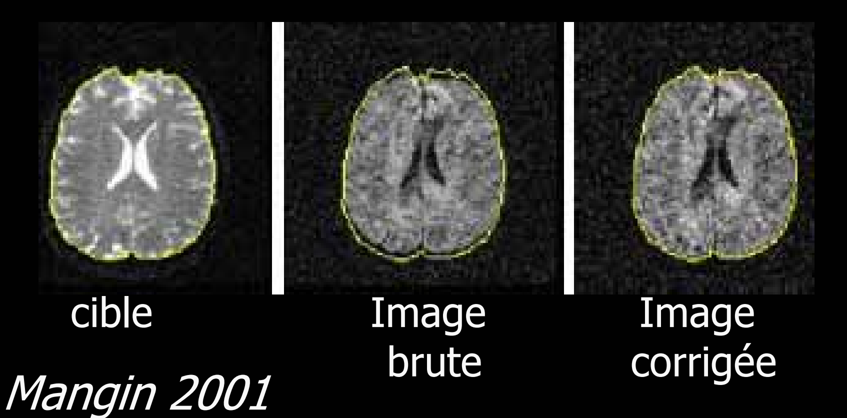


Diff. spin écho



Diff. dual spin écho

- Post-traitement



cible

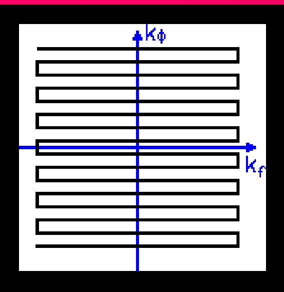
Image brute

Image corrigée

Mangin 2001

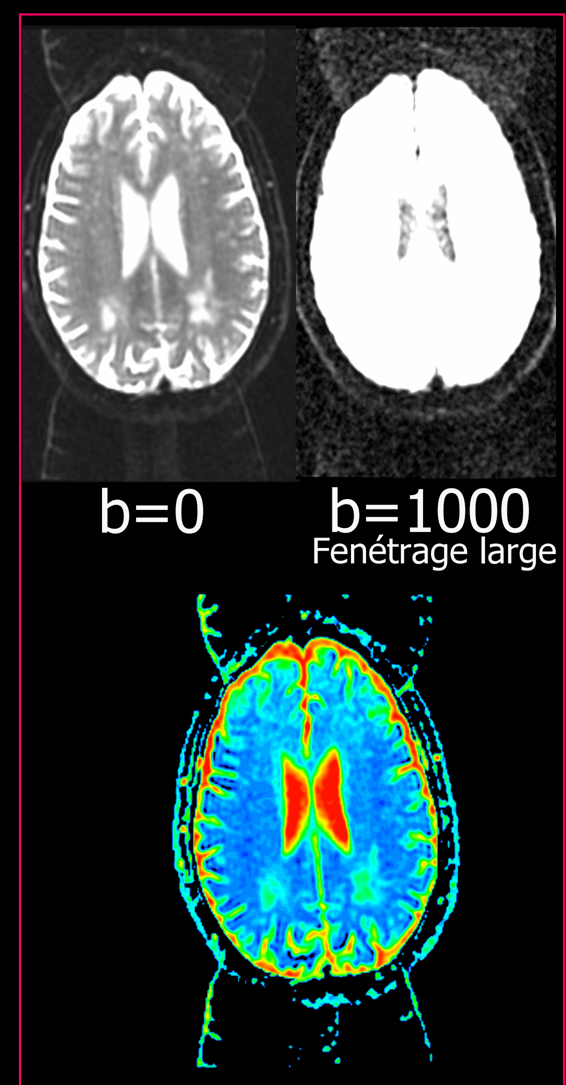
☺ Disponible chez certains constructeurs





Images fantômes

- Cet artefact est du au fait que deux lignes adjacentes du plan de fourier sont lue par des gradients de lecture de direction opposée
- Ces gradients ne sont pas strictement identiques du fait des :
  - Courants de Foucault
  - Imperfections de durée des échos pairs et impairs
  - Inhomogénéités des gradients et B0
- Ces images fantômes s'expliquent par des erreurs de phase différentes entre lignes paires et impaires de l'espace k
- Caractéristiques
  - Propre à EPI (gradient ON/OFF)
  - Se projettent à ½ FOV dans le sens phase (ici A/P)
  - ➘ si *b* augmente (donc moins visible à b=1000)
- Conséquences: artéfacts sur cartes d'ADC



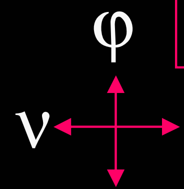
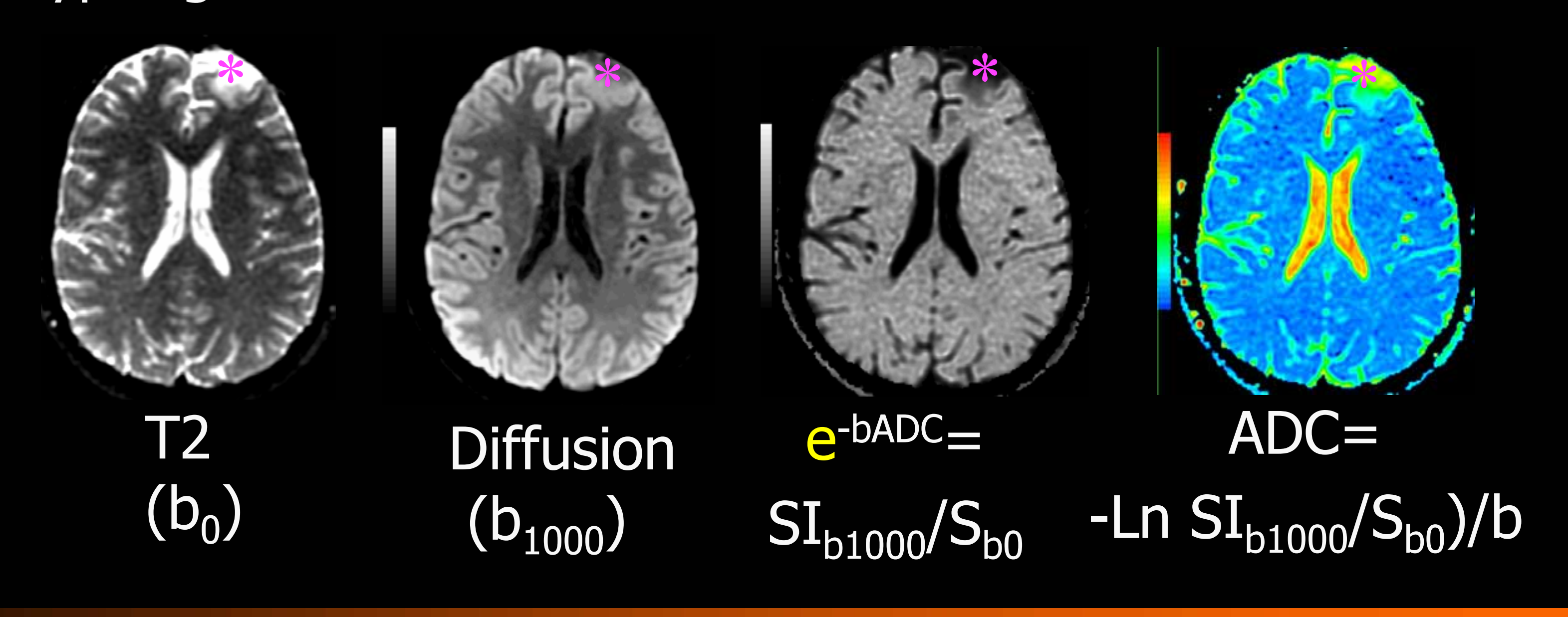


Image exponentielle

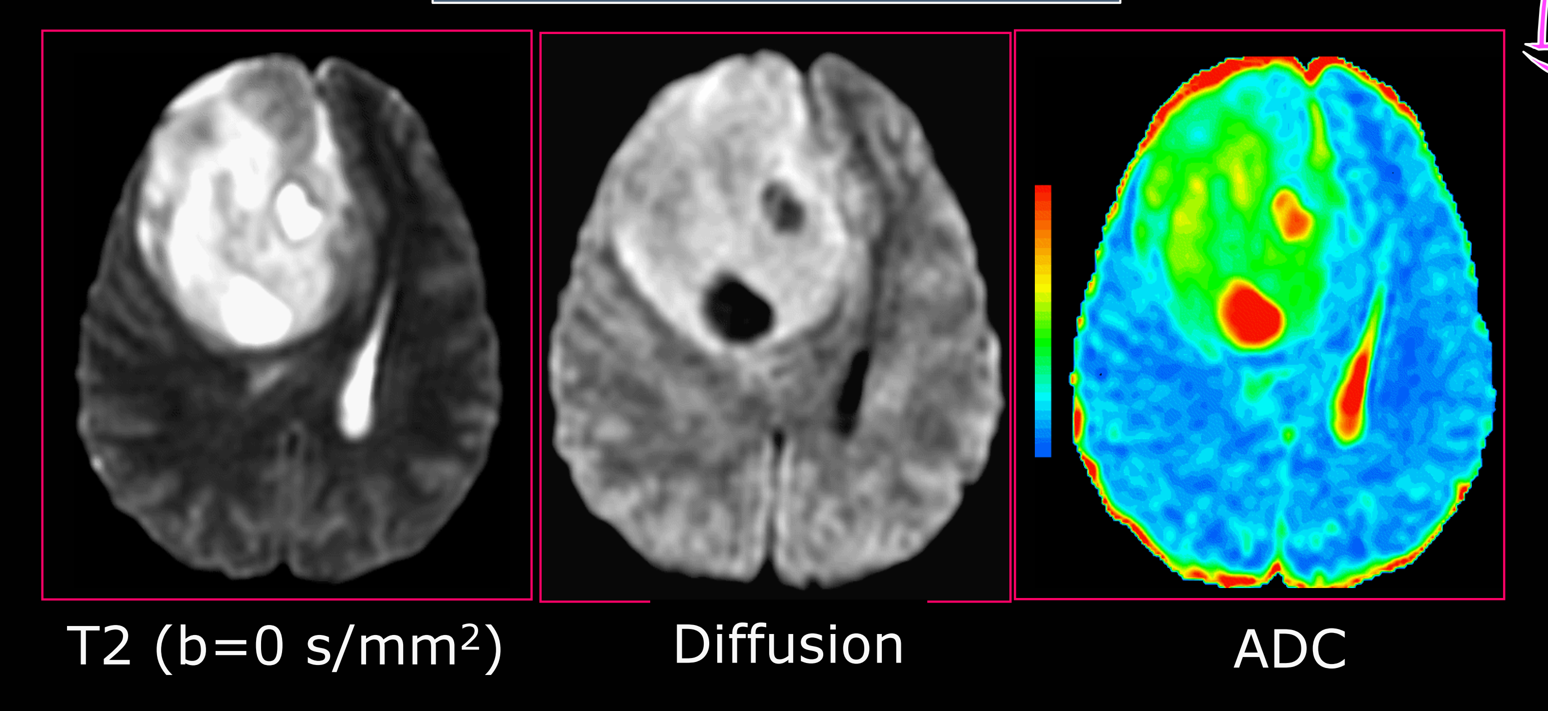
- Pour s'affranchir du contraste T2 ou d'éventuelle surbrillance en périphérie
- Consiste à diviser l'image de diffusion ($SI_{b1000}=S_{b0}e^{-bADC}$) par le signal en b0
- Le signal devient : $SI= SI_{b1000}/S_{b0}=e^{-bADC}$
- Attention, cette image se lit comme celle en diffusion :
  - hypersignal ≈ ADC bas
  - Hyposignal ≈ ADC élevé

* Oligodendrogliome



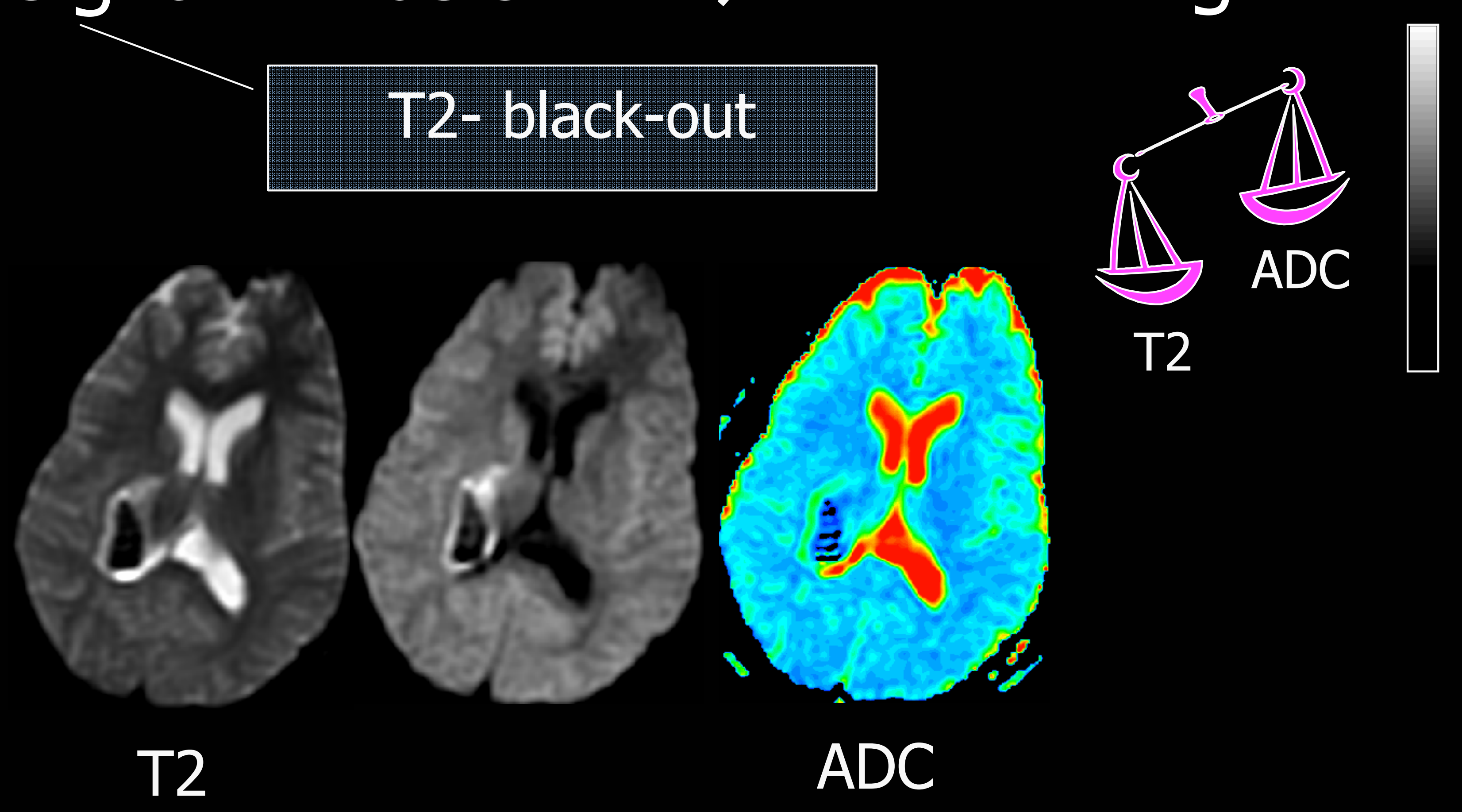
Hypersignal Diffusion → ✕ ADC diminué

T2-shine through



- Ici, l'hypersignal en diffusion ne reflète pas une baisse d'ADC
- L'hypersignal en diffusion est du à l'allongement du T2 (hypersignal T2) peut persiste sur la séquence de diffusion sans qu'existe de baisse d'ADC
- C'est l'effet "T2 shine-through" des anglosaxons
- Ici, l'ADC est modéremment augmenté (tumeur)

Hyposignal Diffusion ⟶ ADC augmenté



- L'effet T2 peut se traduire par un hyposignal sur la séquence de diffusion (effet « T2 dark-through ») en cas de lésion hypointense en T2, malgré une baisse de l'ADC
- Ici, hématome récent

Diffusion Normale → ADC normal

T2 wash-out

T2 ADC

T2/FLAIR Diffusion ADC

- Enfin, une lésion peut apparaître isointense en diffusion alors que ni le T2 ni la diffusion ne sont normales !
- Cette situation se rencontre lorsqu'il se produit une balance entre la composante hyper intense liée à l'effet T2 et la chute du signal liée à un ADC augmenté

